

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství



Posouzení stability tělesa komunikace R46

**v km 9,100-9,275 – analýza příčin a vypracování návrhu
stabilizačních opatření**

**Assessment of the Stability of Soil Solid of the Road R46
(9.100-9.275 km) – Analysis of Causes and Devising of
Stabilization Measures Project**

Student:

Bc. Michal Šilc

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Stolárik, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Šilc**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T035 Geotechnika

Téma: Posouzení stability tělesa komunikace R46 v km 9,100-9,275 – analýza
příčin a vypracování návrhu stabilizačních opatření
Assessment of the Stability of Soil Solid of the Road R46 (9.100-9.275
km) – Analysis of Causes and Devising of Stabilization Measures
Project

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality
2. Analýza stávajícího stavu sesuvného území, včetně matematického modelu
3. Návrh variantních sanačních opatření
4. Modelová analýza navržených variant sanací
5. Porovnání jednotlivých variant sanací
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hulla, J., Turcek, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Vaníček, I., Vaníček, M. *Earth Structures*. Kluwer Academic Publisher Group. ISBN 9781402039638.
3. Coduto, D. *Geotechnical Engineering*. Prentice Hall: New Jersey, 1999. ISBN 0-12-576380-0.
4. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
5. Brinkgreve, R.B.J. *Manual Plaxis*. Balkema. ISBN 90-5809-508-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016


doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

Diplomová práce se zabývá posouzením stability tělesa komunikace R46 na úseku mezi Vyškovem a Olomoucí. Těleso již delší dobu vykazuje, v km 9,100 – 9,275, četná porušení. První část je věnována problematice sesuvných území. Druhá část představuje popis posuzované lokality včetně zhodnocení stávajícího stavu. Na základě analýzy skutečného stavu, podloženého matematickým modelem ze softwaru Plaxis 2D, byla navržena kombinace dvou stabilizačních opatření. Zhodnocení účinků těchto opatření bylo získáno opět z matematického modelování v Plaxis 2D. Výsledky navržených stabilizačních opatření jsou vyhodnoceny ve formě stupně stability svahu. Na závěr je práce doplněna přibližnou cenovou kalkulací. Cílem diplomové práce je posouzení současného stavu svahu a vypracování návrhu stabilizačních opatření.

Klíčová slova

Sesuvná území, stabilizační opatření, pilotová stěna, odvodnění, stabilita svahu, modelová analýza, Plaxis 2D.

Annotation

The thesis deals with the assessment of the stability of soil solid of the road R46 in the area between Vyškov and Olomouc. For a long term, the soil solid evinces numerous breaches in km 9.100 to 9.275. The first part is devoted to the issue of landslides. The second part presents a description of the assessed locations, including assessment of the current situation. The combination of two stabilization measures project was designed. This design is based on the analysis of the mathematical model of the actual situation presented in software Plaxis 2D. Evaluation of the effects of these measures were obtained again from mathematical modeling in Plaxis 2D. The results of proposed stabilization measures project are evaluated as degree of slope stability. At the end, the thesis includes an approximate price calculation. The aim of this thesis is the assessment of current state of the slope and devising of stabilization measures project.

Keywords

Landslides, stabilization measures project, pile wall, drainage, slope stability, model analysis, Plaxis 2D.

Obsah

Seznam použitého značení	8
1 Úvod.....	9
2 Problematika sesuvných území	10
2.1 Názvosloví sesuvného území.....	10
2.2 Rozdělení svahových pohybů	11
2.2.1 Ploužení	11
2.2.2 Sesouvání.....	12
2.2.3 Stékání	13
2.2.4 Řícení.....	14
2.3 Dělení sesuvů dle geologicko-morfologického vývoje.....	14
2.4 Faktory způsobující svahové pohyby.....	15
2.5 Metody výzkumu sesuvných území.....	17
2.5.1 Výzkum v terénu	17
2.5.2 Zaměření sesuvného území	18
2.5.3 Hydrogeologický výzkum	19
2.6 Geotechnický monitoring zemních svahů.....	19
2.7 Stabilizační opatření zabraňující vzniku svahových deformací.....	21
2.7.1 Úprava tvaru svahu.....	21
2.7.2 Horninové kotvy	21
3 Násypy dopravních staveb	23
3.1 Poruchy násypů.....	23
4 Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality	25
4.1 Posuzovaná lokalita	25
4.2 Geologické a hydrogeologické poměry	27
5 Analýza stávajícího stavu sesuvného území, včetně matematického modelu	32
5.1 Současný stav svahu	32

5.2	Geodetické zaměření příčného profilu.....	35
5.3	Matematický model stávajícího stavu.....	36
5.3.1	Příprava pro modelování	37
5.3.2	Fáze modelování.....	38
5.3.3	Výsledky stávajícího stavu bez vody	41
5.3.4	Výsledky stávajícího stavu s vodou	43
6	Návrh variantních sanačních opatření	45
6.1	Odvodnění.....	45
6.2	Pilotová stěna.....	46
6.3	Výsledný návrh sanačních opatření	48
7	Modelová analýza navržených sanačních opatření	49
7.1	Fáze modelování	49
7.2	Vyhodnocení výsledků modelové analýzy	51
8	Přibližná cenová kalkulace.....	57
9	Závěr.....	58
	Seznam zdrojů knižní literatury.....	61
	Seznam internetových zdrojů	61
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam tabulek.....	65
	Seznam příloh.....	66

Seznam použitého značení

H_z	horizontální úhel dalekohledu totální stanice [gon]
H_z	vertikální úhel dalekohledu totální stanice [gon]
γ	objemová tíha zeminy v přirozeném uložení [kN/m ³],
E_{def}	modul přetvárnosti [MPa]
ν	Poissonovo číslo [-],
ϕ_{ef}	úhel vnitřního tření horniny [°]
c_{ef}	soudržnost horniny [kPa]
u	posuny [m]
k_x	filtrační součinitel [m/den]
ΣM_{sf}	stupeň stability [-]

1 Úvod

Tématem diplomové práce je celkové posouzení stability tělesa komunikace R46 a návrh vhodných stabilizačních opatření. Zájmové území se nachází na komunikaci mezi Vyškovem a Olomoucí na úseku 9,100 – 9,275 km. Na tomto úseku se již delší dobu projevují náznaky nestability v podobě četných porušení ve svahu. Řešení této nestability je hlavním úkolem diplomové práce.

Otázka stability svahů u silničních komunikací je v dnešní době velmi aktuální. Dopravní síť v ČR se díky houstnoucí dopravě stále rozšiřuje. Proto je třeba dbát především na správné dodržení technologických postupů a volbě materiálu při zhotovování jak násypů, tak samotných komunikací. Při jakémkoliv zanedbání postupu u těchto prací dochází pak k trhlinám ve vozovkách či deformacím samotného tělesa, které mohou skončit až sesuvem svahu. Tyto poruchy ohrožují účastníky provozu, a proto je nutné jim předcházet nebo je vhodným způsobem opravit. Dalšími příčinami bývají nejčastěji špatná údržba komunikace a především působení extrémních srážek. Zabránění vzniku svahových pohybů je hlavním úkolem geotechnika.

Samotná práce představuje detailní popis zájmového území včetně osobního geodetického zaměření příčného profilu. Dále jsou popsány geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality. Po zpracování těchto dat se mohlo přistoupit k samotné analýze stávajícího stavu sesuvného území. Veškerá analýza a posouzení současné stability vychází z matematického modelu vytvořeného v softwaru Plaxis 2D. Byly vytvořeny dva modely stávajícího stavu. První jako varianta bez přítomnosti podzemní vody, jelikož dle získaných materiálů nebyla zaznamenána. U druhého modelu je uvažován vliv extrémních srážek. Proto je tento model, kdy je těleso plně nasyceno vodou, brán jako stěžejní pro posouzení stability svahu. U této varianty modelu je dle předpokladu svah nestabilní a proto je nutné zvolit vhodná sanační opatření. Jako vhodná sanační opatření jsou zvoleny pilotová stěna spolu s odvodněním tělesa komunikace. Účinky těchto opatření jsou vyhodnoceny v podobě stupně stability z matematických modelů. Na závěr je práce doplněna cenovou nabídkou.

2 Problematika sesuvných území

S problematikou stability svahů se můžeme setkat v nejrůznějších odvětvích lidské činnosti, především však při projektování a realizaci inženýrských staveb. Svahy lze rozdělit do dvou skupin. Svahy v původním přirozeném stavu a svahy umělé, které vznikají lidským zásahem do přírodních poměrů. Účinkem zemské tíže dochází k přemísťování horninového materiálu, tím vznikají svahové pohyby a dochází k porušení stability svahu. Svahové pohyby především ničí lesní porosty, poškozují stavby a komunikace, tyto následky a jejich řešení pak přechází v ekonomický problém. V obydlených oblastech mají velké sesuvy vždy katastrofální následky jak na obydlích, tak na životním prostředí. [1]

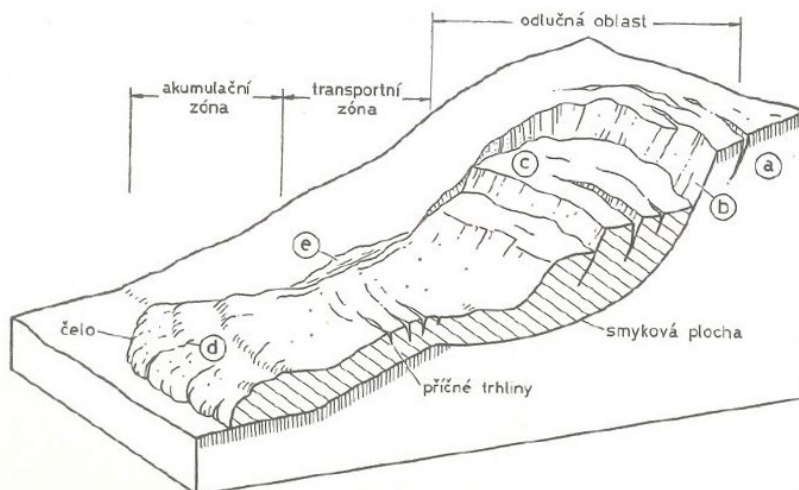


Obr. 1: Úsek rozestavěné dálnice D8, částečný sesuv půdy v roce 2013 [5]

2.1 Názvosloví sesuvného území

Sesuv lze rozdělit do tří částí:

- Odlučná oblast – zde se projevují první poruchy nestability v horní části svahu v podobě příčných trhlin a odtržení svahu.
- Transportní zóna – odtržený svah se pohybuje po smykové ploše, dochází k transportu zeminy.
- Akumulační zóna – zde se nahromadí zemina, sesuv se zastaví a dojde k rovnováze svahu. [2]



Obr. 2: Hlavní části sesuvu: a) tahové trhliny nad odlučnou oblastí, b) odlučná stěna, c) příčné trhliny, d) radiální trhliny, e) boční valy. [1]

2.2 Rozdělení svahových pohybů

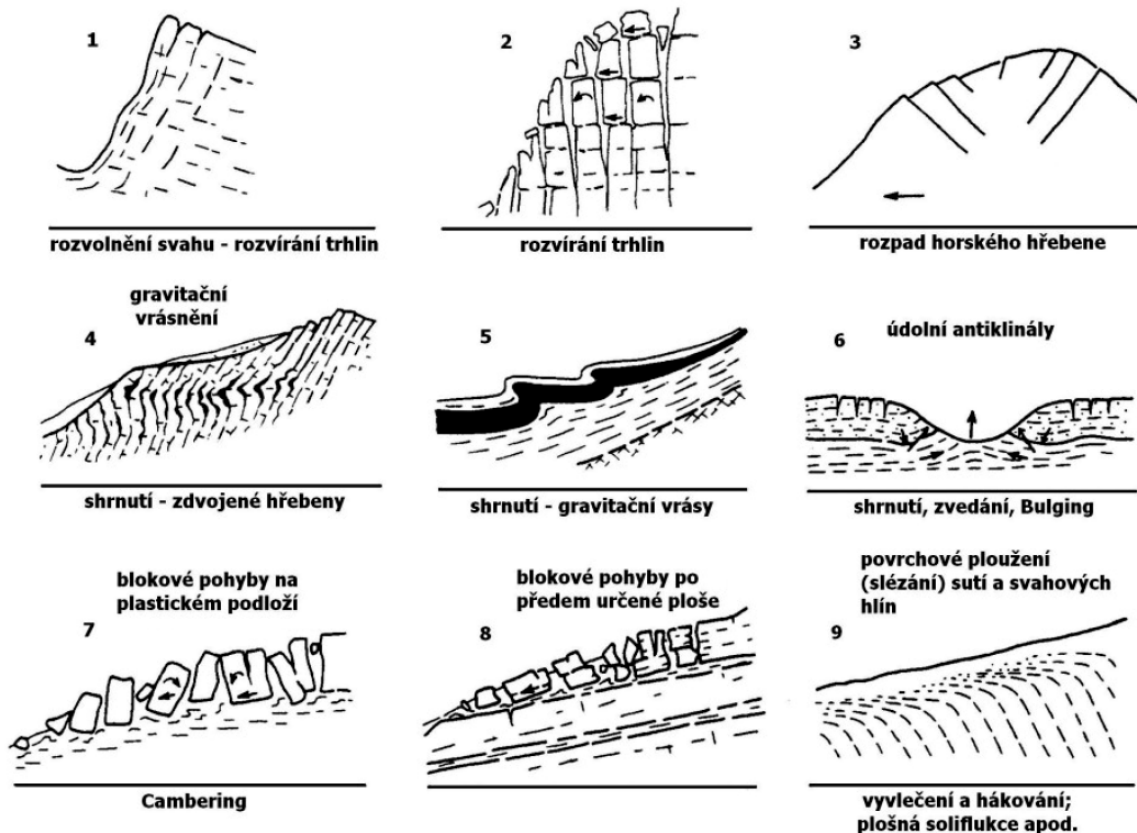
Klasifikací svahových pohybů se zabývalo mnoho autorů, každý z nich přinesl na tuto problematiku vlastní pohled, tudíž je klasifikace velmi široká. Někteří autoři klasifikovali svahové pohyby dle různých kritérií jako rychlost pohybu, materiál sesuvu, dle průběhu smykové plochy a jiné. U nás se zabývali problematikou svahových pohybů Nemčok společně s Paškem a Rybářem (1974), kteří rozdělili svahové pohyby dle mechanismu a rychlosti pohybu na čtyři skupiny: ploužení, stékání, sesouvání a řícení.

2.2.1 Ploužení

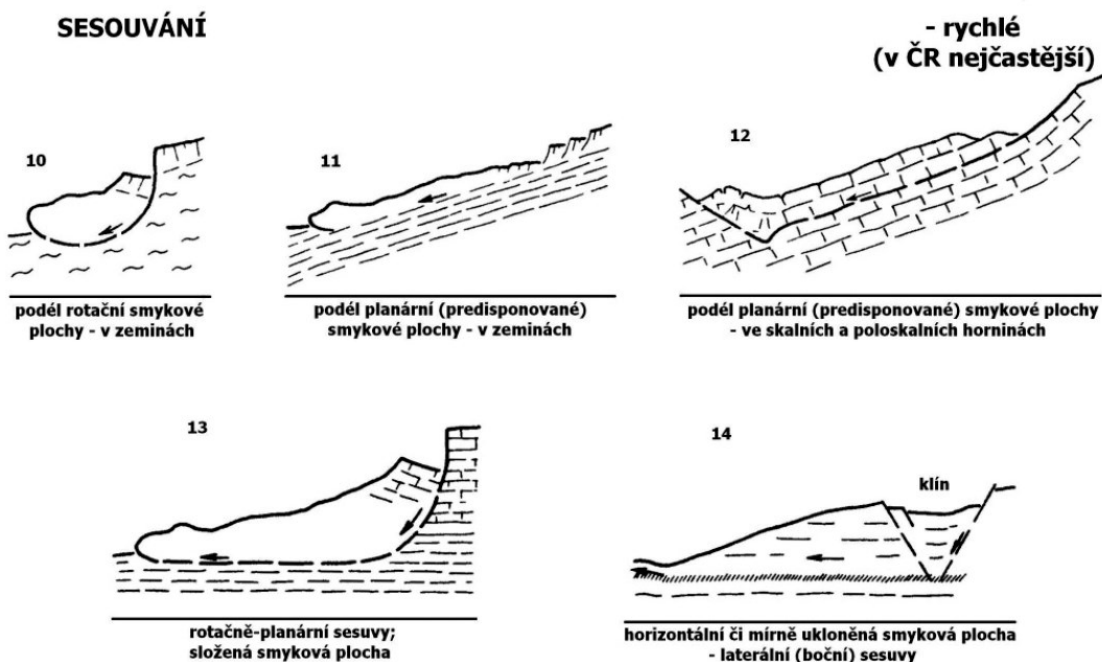
Jedná se o dlouhodobý nezrychlující se pohyb horninových hmot s velmi malou rychlostí pohybu v řádech milimetrů až centimetrů za rok. Ploužením začíná každý svahový pohyb. Ploužení je rozděleno na dva typy. Hlubinné ploužení se vyznačuje rozvolněním a roztrháním horských masivů, ohýbáním vrstev a blokovými poruchami. Na povrchu dochází k působení povětrnostních vlivů a k nerovnoměrným pohybům, které se projevují slézáním svahových hlín a sutí a hákováním vrstev. Hranice vůči pevnému podloží není příliš zřetelná.

PLAZENÍ, PLOUŽENÍ, CREEP**- velmi pomalé a pomalé**

roztrhání horských masívů

*Obr. 3: Druhy ploužení [3]***2.2.2 Sesouvání**

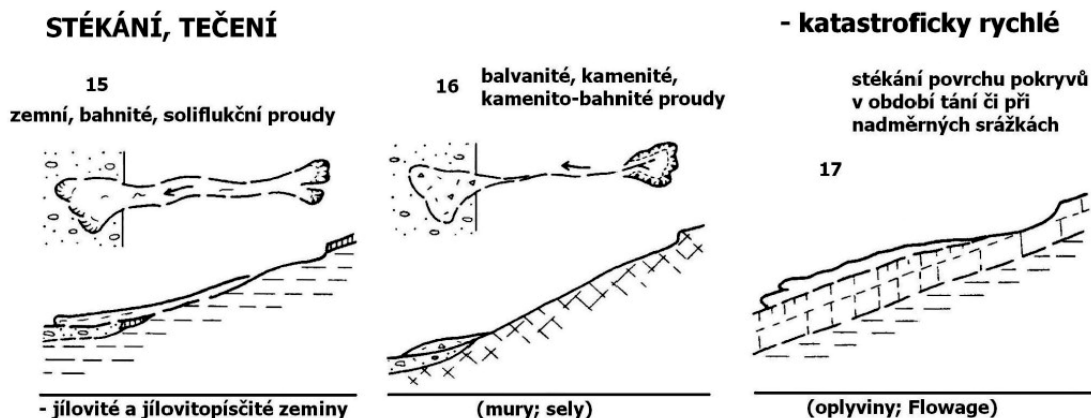
Sesouváním se vyznačuje rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninové hmoty podél jedné nebo více průběžných smykových ploch rychlostí v metrech za den. Výsledkem sesuvného pohybu je „sesuv“. Tento pohyb je v ČR nejčastější. Sesuvný pohyb se vyznačuje, že část horninových hmot se nasune na původní terén v předpolí. Dle tvaru smykové plochy rozeznáváme tyto typy sesouvání: rotační, planární, rotačně planární a translační (Obr. 4).



Obr. 4: Druhy sesouvání [3]

2.2.3 Stékání

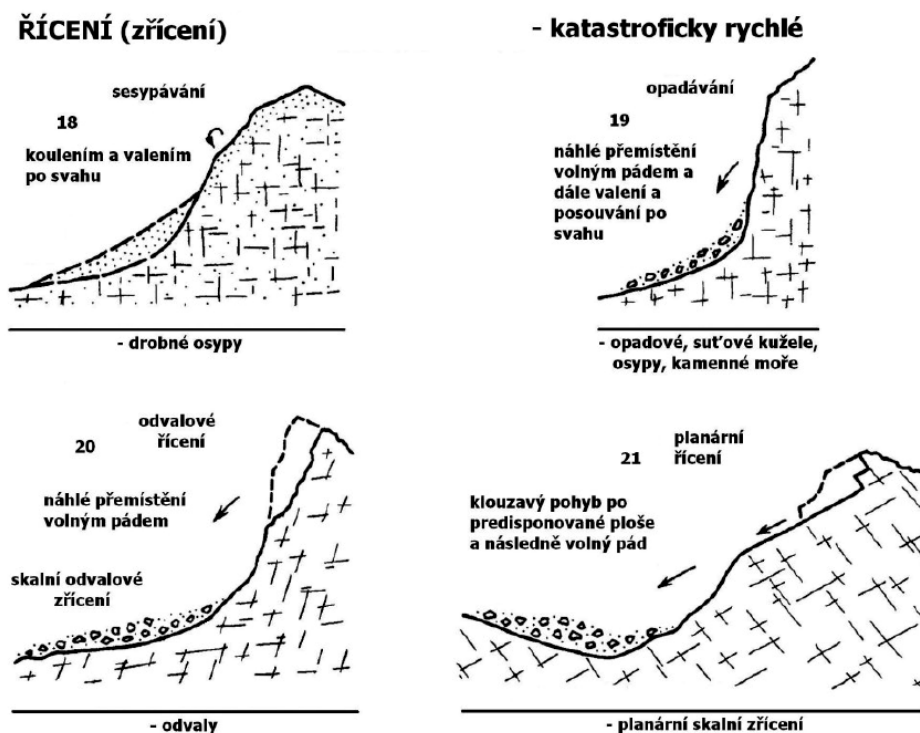
Tento proces je charakteristický rychlým krátkodobým pohybem. Horninové hmoty jsou ostře odděleny od podloží a jsou ve viskózním stavu. Rychlost pohybu jsou metry až kilometry za hodinu. Nezpevněná, značně nasycená hmota vytéká z odlučné jámy a stéká po povrchu. Tento jev se vyskytuje především v horách po přívalových deštích, náhlém tání sněhu nebo průtrži jezer. Výsledkem je „proud“, který může být zemní nebo kamenitý.



Obr. 5: Druhy stékání [3]

2.2.4 Řícení

Řícení je náhlý krátkodobý pohyb horninových hmot, který vzniká na strmých svazích. Horninové hmoty se rozvolní, padají volným pádem, u paty svahu se nahromadí a pak dále pokračují do údolí v podobě skalního proudu. Rychlost se pohybuje v metrech za sekundu, tím je dosahováno velkých vzdáleností přemístěných hmot. [6]



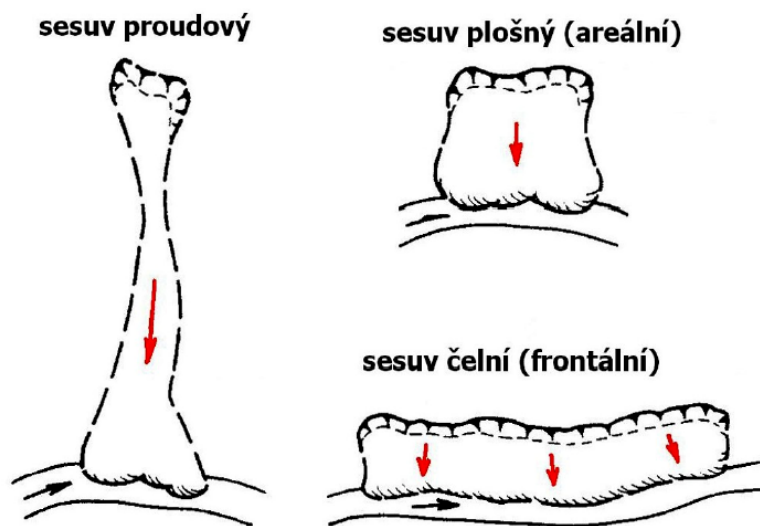
Obr. 6: Druhy řícení [3]

2.3 Dělení sesuvů dle geologicko-morfologického vývoje

Dalšími kritérii pro charakterizování svahových jevů jsou především čas, stabilita, geneze a tvar. Kritéria a charakteristiky jednotlivých svahových jevů (Řezníček, Pašek, Zeman, 1980):

- Podle **staří** dělíme svahové pohyby na recentní a fosilní. Fosilní probíhaly v dřívějším období a recentní probíhají za současných klimatických a morfologických podmínek.
- Podle **vývoje** rozlišujeme svahové pohyby na počáteční, pokročilé a závěrečné.
- Rozdělení dle **stupně aktivity** na aktivní (probíhající), potenciální (dočasně uklidněný, ale příčiny pohybu se mohou obnovit) a stabilizované (trvale uklidněné).

- Dle **geneze** na přirozené, bez jakéhokoliv zásahu člověkem a na uměle vyvolané lidskou činností.
- Podle **opakovatelnosti** rozlišujeme pohyby jednorázové nebo periodicky se opakující.
- **Směr narůstání deformací** může být progresivní (po svahu) a regresivní, kdy se oblast sesuvu dále rozšiřuje po svahu.
- Podle **morfologické formy** na zastřené (tvary porušené mladšími procesy) a pohřbené (tvary překryty mladšími uloženinami).
- Dle **půdorysného tvaru deformací** na proudový, plošný a čelní (Obr. 7).



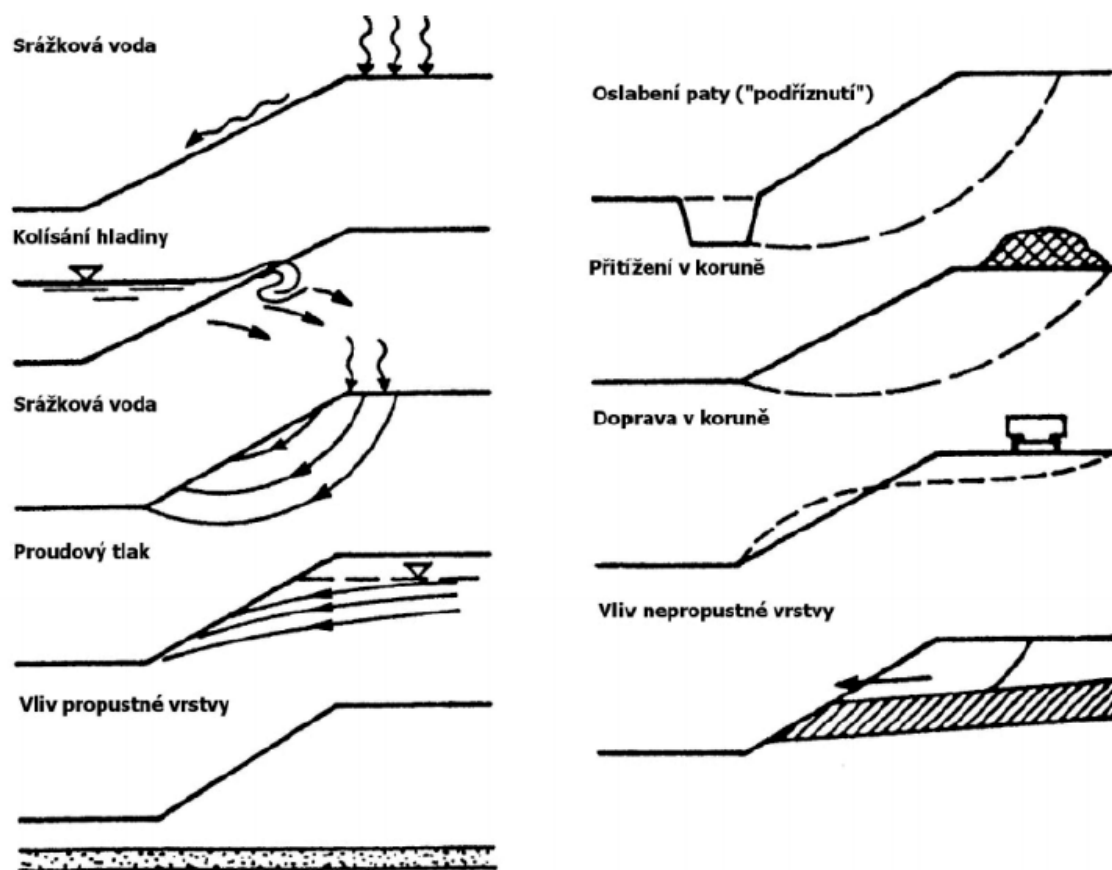
Obr. 7: Typy sesuvů dle půdorysného tvaru [3]

2.4 Faktory způsobující svahové pohyby

Faktory zapříčiňující svahové pohyby (deformace) lze dělit do více skupin. Například z hlediska doby trvání se dělí na dlouhodobé a krátkodobé, z hlediska geneze na přirozené a umělé. Terzaghi (1950) rozdělil faktory svahových pohybů na vnější a vnitřní příčiny. Vnější příčiny jako sklon, výška a zatížení svahu zvyšují smykové síly v prostředí. K vnitřním můžeme přiřadit zvyšování pórového tlaku nebo rychlý pokles hladiny vody, tyto příčiny snižují odpor hornin proti smyku. [6]

K nejdůležitějším faktorům svahových pohybů a deformací patří:

- Změna sklonu svahu - zvýšením sklonu svahu vzroste smykové napětí v horninách a poruší se tak rovnováha. Tuto změnu může způsobit podkopání nebo podemletí paty svahu.
- Zvětšení výšky svahu – po výkopových pracích nebo působení erozní činnosti dojde ve svahu k uvolňování bočních napětí a následnému vzniku puklin, do kterých vniká voda.
- Přetížení násypy – nebo skládkami dochází k nárůstu smykových napětí a pórových tlaků. Čím rychlejší přetížení, tím nebezpečnější pro celkovou stabilitu tělesa.
- Otřesy a vibrace – Výbuchy, otřesy strojů či zemětřesením dochází v horninách ke kmitům různých frekvencí. V horninovém prostředí dojde k dočasným změnám napětí, které mohou porušit stabilitu svahu.
- Změny obsahu vody – Povrchová voda z dešťových srážek nebo z tajícího sněhu se dostane do puklin, čím v prostředí dochází k nárůstu pórových tlaků a smyková pevnost klesá. Především po vydatných deštích dochází k častým sesuvům. Opakem je pak období sucha, především u jílovitých zemin. Ty vysychají a vytváří se hluboké trhliny, které snižují soudržnost.
- Působení podzemní vody – Proudící podzemní voda vyplavuje jemnozrnné částice zeminy a zhoršuje tak stabilitu svahu. Například v jemném písku a siltu mohou po vyplavení částic vznikat podzemní dutiny, ty porušují stabilitu. Opačným případem jsou nepropustné vrstvy v nadloží, kde vzniká napjatá hladina a působí vztlakem.
- Činnost mrazu – Působením mrazu vzrůstá objem vody v trhlínách, rozšiřují se stávající trhliny a vznikají nové trhliny. Horniny jsou pak rozpukane a mají menší soudržnost.
- Zvětrávání hornin – Na mechanické a chemické zvětrávání jsou nejvíce náchylné pískovce a jíly. Působením prosakující vody dochází v horninách k chemickým změnám, jako jsou hydratační pochody či výměna iontů v jílech.
- Změna ve vegetačním pokryvu – Veškerá vegetace, především kořeny stromů zvyšují soudržnost povrchových vrstev tím, že částečně vysouší svah svým kořenovým systémem. Následkem odlesnění se změní vodní režim ve svrchních vrstvách a dojde k nestabilitě svahu. [1]



Obr. 8: Některé faktory porušující stabilitu svahu v zeminách [4]

2.5 Metody výzkumu sesuvných území

Hlavním úkolem inženýra je zabránit vzniku sesuvných pohybů. Tam, kde již k pohybům došlo, musí navrhnout taková opatření, aby svah stabilizoval. V dnešní době musí brát hlavní zřetel na efektivnost a ekonomičnost návrhu.

2.5.1 Výzkum v terénu

Abychom mohli účelně navrhnout sanační opatření sesuvu, je za potřebí abychom si nejprve zájmové území podrobně geologicky prozkoumali. V průzkumu se nezaměřujeme pouze na jednu věc, ale je nutné se na problém dívat komplexně. Je nutné se zaměřit na geologickou stavbu území, fyzikálně mechanické vlastnosti hornin, hydrogeologické poměry a morfologii svahu, abychom byli schopni vysvětlit momentální tvar reliéfu svahu. Průzkum se rozděluje do několika etap.

Předběžný průzkum zahrnuje především osobní průzkum terénu, zjistí se rozsah území pro další průzkumné práce, jako jsou vrty, průzkumné štoly, kopané sondy aj.. Dále se snažíme získat o území co nejvíce informací z archivních materiálů, starých publikací či geologických map. Po dokončení předběžného průzkumu jsou všechny závěry pouze hypotetické. Je nutné se zaměřit na podrobnější průzkum.

Hlavním stádiem k získání podrobnějších informací je geodetické zaměření území a podrobný inženýrskogeologický průzkum zájmového území. Jako mapový podklad slouží topografické mapy nebo také letecké snímky. Nejdůležitější jsou však vrtné průzkumné práce, odebrání vzorků zemin a jiné vhodné metody průzkumu. Veškeré průzkumné práce jsou patřičně zaznamenávány a spolu s laboratorními výsledky vyhodnoceny inženýrským geologem a geotechnikem v závěrečné zprávě. Na podrobném průzkumu by se nemělo šetřit, protože dobrý průzkum předchází případným budoucím neočekávaným problémům a zároveň chrání investora a projektanta při zhotovování sanačních prací.

Třetí stadium se zaměřuje na průběh sanačních prací, kdy je za přítomnosti inženýrského geologa kontrolováno, jestli se výsledky podrobného průzkumu shodují se skutečností. Geolog dále zaměřuje a dokumentuje profily odkrytých částí, případně navrhne dodatečný průzkum.

V posledním čtvrtém stádiu se dlouhodobě sledují hydrogeologické poměry a účinnost sanačních opatření.

2.5.2 Zaměření sesuvného území

Po důkladné prohlídce svahu je nutné provést situační i výškové zaměření do vrstevnicového plánu ve vhodném podrobném měřítku. Nedílnou součástí pro zmapování sesuvů je vhodný topografický podklad pořízený leteckou nebo pozemní fotogrametrií. Tato metoda sběru dat je dnes na velmi vysoké úrovni a data jsou velmi přesná. Veškerá potřebná data sbírá, zpracovává a archivuje ČÚZK. Data jsou zpřístupněna v digitální podobě.

Dále je nutné zaměřit několik význačných profilů dle velikosti sesuvu a potřeby pro další zpracování. Profil by měl vést od úpatí svahu přes akumulaci splaz až na odlučnou oblast. Měl by být také dostatečně dlouhý, tudíž by měl být znázorněn i terén neporušeného území pod sesuvem a nad sesuvem. Je třeba klást důraz na zaměření všech výrazných změn v sesuvu, jako jsou hrany, trhliny, vlny a smykové plochy. Po zaměření profilů se do vrstevnicového plánu doplní polohy a výšky vrtných průzkumných prací.

2.5.3 Hydrogeologický výzkum

Voda, ať už podzemní či povrchová hraje velmi důležitou roli při posuzování stability svahu a při návrhu sanačních opatření. Cílem hydrogeologického průzkumu je především zjistit výšku hladiny podzemní vody a zaznamenat její kolísání. Na povrchu je nutné zaznamenat do mapy všechny vodoteče, prameny a vývěry podzemních vod v blízkém okolí. Sesuvy svahů mění odtokové poměry povrchových i podzemních vod. Po sesuvu si pak voda hledá nové cesty skrz porušené horniny, mohou se pak objevit nové prameny na jiných místech. Voda se většinou zadržuje na smykových plochách, jelikož se projevují jako nepropustné. [1]

2.6 Geotechnický monitoring zemních svahů

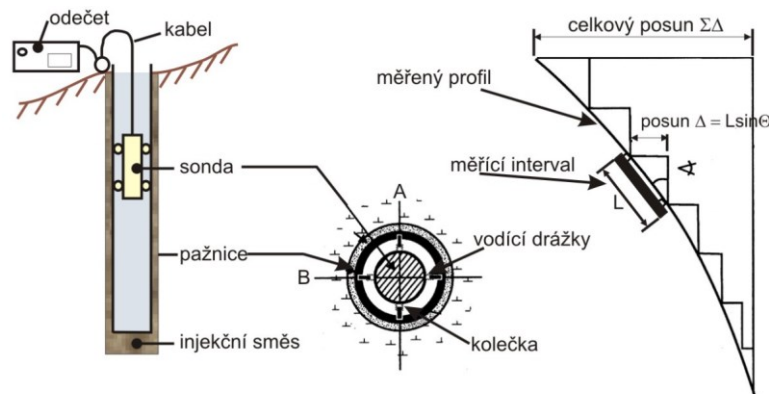
Hlavním úkolem geotechnického monitoringu je sledování napětí – deformačních a silových změn v horninovém prostředí nebo na konstrukcích. Geotechnický monitoring tedy slouží k neustálému dohledu a kontrole. Z monitoringu zemních svahů dostáváme výsledky o procesech, které probíhají na povrchu nebo uvnitř svahu. Z těchto výsledků můžeme přesněji popsat příčiny nestability svahu, jejich časový vývoj a lokalizovat smykovou plochu. Dále je možno pomocí monitoringu ověřit účinnost sanačních či stabilizačních opatření.

Při samotném návrhu a realizaci monitorovacích měření je třeba vycházet z geometrie svahu, geologie svahu, stálého nebo dynamického zatížení svahu a hlavně z vodního režimu svahu. Základními typy pro monitorování zemních svahů jsou monitoring přetváření a vývoje smykových ploch, monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků.

K monitoringu na povrchu je nejčastěji využíváno klasického geodetického zaměření, kdy jsou do svahu ukotveny pevné body, na kterých se zaměří posuny. Při dlouhodobém pozorování vývoje svahu se pro měření bodů používají automatické optické stanice. Pomocí dilatometrů se měří rozevírání trhlin na povrchu.

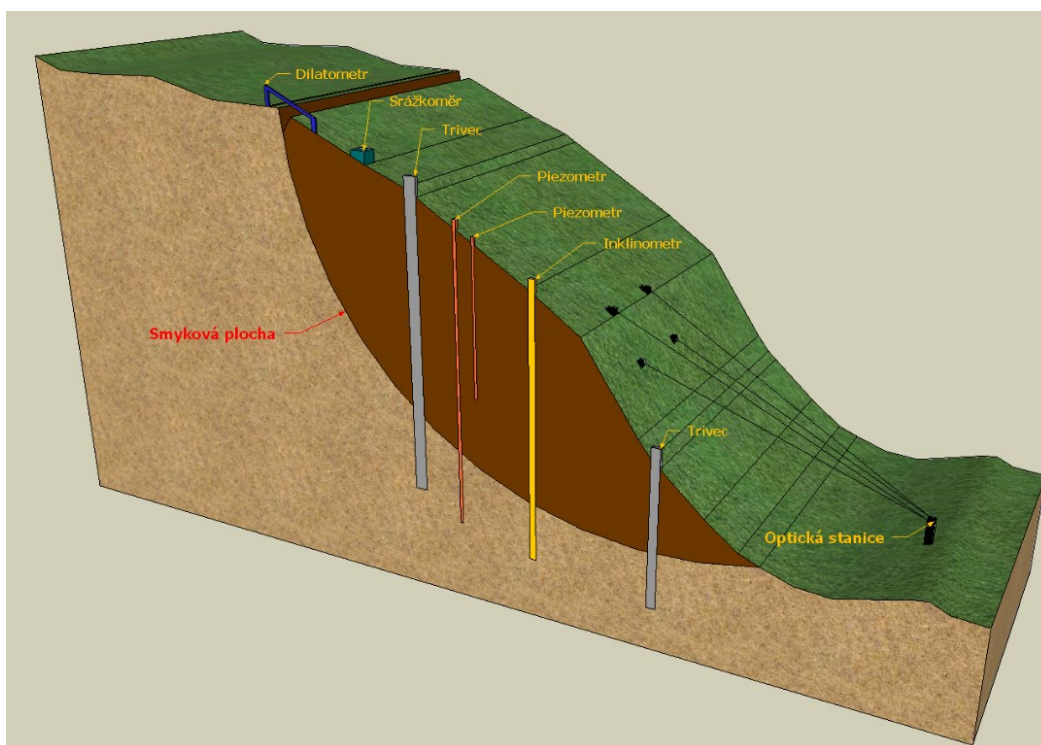
Ke sledování přetváření uvnitř horninového masívu se nejčastěji používají extenzometry, inklinometry, křehké páskové vodiče. Pomocí inklinometru se zaznamenávají horizontální posuny, u extenzometru vertikální posuny. Obě tato měřičská zařízení jsou umístěna ve vrtech. Extenzometrem lze sledovat sedání svahu. Pomocí inklinometru (Obr. 9) je možno lokalizovat smykovou plochu a sledovat její posuny v čase. Lze také využít monitorovacího zařízení Trivec, což je kombinace extenzometru a inklinometru.

Hloubka těchto vrtů by se měla volit dle geologického průzkumu nebo lze využít výsledků matematického modelování.



Obr. 9: Princip měření inklinometrickou sondou [7]

Sledování výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků je u svahových těles nejdůležitější. Změna výšky hladiny podzemní vody se může rychle měnit, faktor času je tedy velmi proměnný. K monitoringu používáme piezometry, kterých je vícero druhů (otevřené - Casagrandeho, uzavřené – pneumatický, strunový, odporový). Typ piezometru volíme podle typu zeminy, očekávaných pórových tlaků a reakčního času piezometru. [8]



Obr. 10: Schéma monitoringu svahu

2.7 Stabilizační opatření zabráňující vzniku svahových deformací

Úkolem sanačních opatření je zabránit dalším svahovým deformacím. Při rozhodování, kterou ze sanačních metod použít je kladen důraz především na typ svahové deformace, její plošný a hloubkový rozsah. Dále na prostředí, ve kterém k pohybům dochází, jestli ve skalním nebo zemním masivu. Sanačních metod je značné množství a jsou finančně velmi náročné. Proto je důležité volit vhodné sanační opatření z výsledků předchozího šetření.

Jako předběžná preventivní opatření se provádí ochrana svahu před zvětráváním pomocí výsadby vegetace a travin, ty pak pomocí kořenů zpevňují svrchní část svahu a částečně odvodňují svah. Před započítím jakýchkoliv sanací je třeba nejprve svah vhodným způsobem odvodnit.

Svahy je možno stabilizovat pomocí následujících metod: úprava tvaru svahu, odvodnění svahu, sanace vegetačním porostem, zárubní, opěrné, štětové a pilotové stěny, svorníky a horninové kotvy aj.. [1]

2.7.1 Úprava tvaru svahu

Celkovou stabilitu svahu můžeme zvětšit tím, že odlehčíme zemní těleso v horní části svahu nebo naopak přitížíme v patě svahu. Při odlehčování je třeba brát zřetel na to, aby se odlehčením nezhorsila stabilita ve vyšších částech svahu. Součástí těchto opatření je také odvodnění. Dále je možno upravit tvar svahu vybudováním teras. Zde se může vyskytnout problém malých dílčích sesuvů na jednotlivých terasách. Tato metoda je jednoduchá a rychlá, musí být však správně zvolena pro dané prostředí. [1]

2.7.2 Horninové kotvy

Stabilizace svahu kotvením je velmi rozšířená. Horninové kotvy jsou tyčové prvky zakotveny hluboko do svahu a slouží k přenosu tahových sil. Používají se k zajištění stability svahů, a pažících konstrukcí, kdy jsou síly přenášeny z konstrukce do horninového prostředí.

Samotná kotva se skládá ze tří hlavních částí: hlavy, táhla a kořene. Tahová síla je přenášena z hlavy kotvy pomocí táhla do horninového prostředí, kde je upnuta pomocí injektovaného kořene. Kotvy dělíme z hlediska životnosti na dočasné a trvalé, dále dle typu na tyčové a pramencové. Tyčové kotvy jsou většinou vyráběny o průměrech 25, 32 a 36 mm a dokáží přenášet tahové síly až do 500 kN. Kotvy musí být antikorozně chráněny. Pramencové kotvy se skládají až z 12 pramenců o průměrech cca 15,5 mm, jejich únosnost

se pohybuje od 240 do 1800 kN, záleží na počtu pramenců, délce kořene a vlastnostech horninového prostředí.

Vrty pro umístění kotev jsou prováděny pomocí rotační nebo rotačně-příklepové vrtné soupravy. Hloubka vrtu musí dosahovat až za smykovou plochu. Vrt se nejprve vyleje zálivkou, poté se vloží kotva a provede se injektáž kořene cementovou injekční směsí. Poté se osadí hlava kotvy a v určitých časových intervalech se kotva předepe na hodnoty dané projektem. Pro dlouhodobou kontrolu je využíváno monitoringu, kde se zaznamenávají síly a jejich následné ustálení. Jako měřicí zařízení k zaznamenání těchto tahových sil se používají dynamometry umístěny v hlavách pilot. [9]



Obr. 11: Osazování kotvy do vrtu [9]

3 Násypy dopravních staveb

Úkolem každého projektanta a geotechnika je, aby byly svahy dopravních komunikací stabilní. Je třeba zvolit nejvhodnější trasu komunikace, sklon svahů, výšku a konstrukci násypů. Díky členitému terénu jsou v ČR násypy velmi časté. Hlavním požadavkem na násypy je zajistit bezproblémový provoz na komunikaci.

Násyp je liniové dílo a z geometrického hlediska má profil ve tvaru lichoběžníku, souměrný nebo nesouměrný, v závislosti na okolním terénu. Tvar může být ve výsledku variabilní, třeba rozšířením o přítěžovací lavici nebo vybudování opěrných stěn. Sklon svahu násypu se odvíjí od jeho výšky a geotechnických parametrů materiálu násypu a jeho podloží. Hlavní problematikou je správné založení násypu, volba materiálu a jeho skladba. Sanační opatření jsou obdobná jako u sesuvů.

3.1 Poruchy násypů

Poruchy násypů se obvykle projevují deformacemi ve vozovce, ty nepříznivě ovlivňují bezpečnost provozu. Provoz pak bývá omezen nebo úplně zastaven. Poruchy mohou vzniknout z několika hlavních příčin. Založení násypu tam, kde jsou špatné inženýrskogeologické poměry, chybný projekt, chyby při realizaci a nedostatečná údržba. Projevy poruch se projevují různými způsoby.

Při konsolidaci podloží nebo vlastního tělesa násypu dochází k jeho sednutí. Příčinou sedání násypu vlivem konsolidace může být špatný odhad tohoto procesu. Sednutí vlivem konsolidace se projevuje hlavně u nově vybudovaných násypů poklesem nivelety komunikace. Další příčinou bývá nedodržení volby stavebního materiálu dle projektové dokumentace. Materiál může mít jinou než předepsanou pevnost, vlhkost nebo není dostatečně zhutněn.

Deformace aktivní zóny násypu se projevuje především boulením ve vozovce či na její krajnici. Tyto deformace mohou vznikat při nadměrném zatížení vozovky dopravou a také s nadměrnými přítoky vody do podloží či do samotného násypu. Proto je důležité provádět údržbu odvodňovacích systémů.

Poruchy svahů násypů se projevují zprvu viditelnými zátrhy v koruně násypu a nakonec dojde až k sesuvu svahu. Jedná se o případ, kdy dojde ke ztrátě mezní rovnováhy a ke kolapsu svahu. Nejčastějším případem jsou násypy, které jsou uloženy na šikmém terénu, kdy srážková voda vtéká do tělesa násypu nebo jím podtéká. Dochází k posunům ve směru sklonu podloží. Jiným případem může být ztráta stability stabilizační konstrukce umístěné v koruně nebo patě násypu. [10]

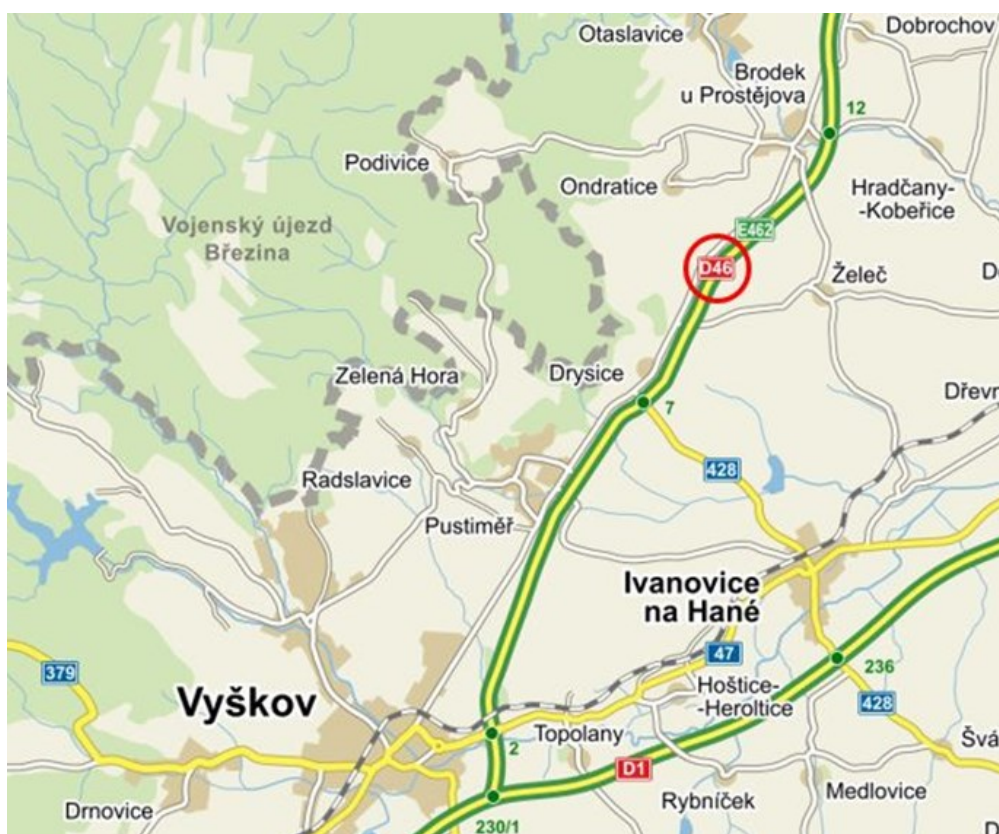


Obr. 12: Sesuv svahu tělesa komunikace [20]

4 Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality

4.1 Posuzovaná lokalita

Komunikace R46 směřující na SV slouží jako spojnice mezi Vyškovem a Olomoucí, její celková délka je 38,772 km. Na základě novely zák. 268/2015 byla od 1. ledna 2016 rychlostní silnice R46 přerazena do dálniční sítě jako dálnice D46. Posuzovaná lokalita se nachází na hranici Jihomoravského a Olomouckého kraje a to v 9,100 – 9,275 km mezi obcemi Drysice a Brodek u Prostějova.



Obr. 13: Posuzovaná lokalita [11]

Úsek mezi obcemi Drysice a Brodek u Prostějova byl vybudován na přelomu 70. a 80. let. Část komunikace Drysice – Želeč byla zprovozněna v roce 1981 a končila provizorním sjezdem na starou silnici za obcí Drysice. Část Želeč – Brodek u Prostějova byla zprovozněna v roce 1979. Stavba začínala mezi pískovnamy na provizorním sjezdu a pokračovala východně od Brodku. V místě posuzované lokality stavba probíhala na konci 80. let a byla zprovozněna v roce 1992. Komunikace je postavena v kategorii R 22,5/100. [12]

Z přiložené účelové mapy (Příloha č. 3) je patrné, že od 9,125 km komunikace stoupá ze zářezu do pozvolného násypu. Celkové převýšení na zájmovém úseku, tedy od 9,100 km (310,36 m n. m.) po 9,275 km (313,40 m n. m.) činí 3 metry. Dále komunikace pozvolna klesá. Daný úsek je tedy nejvyšším místem.



Obr. 14: Letecká mapa zájmového úseku [13]

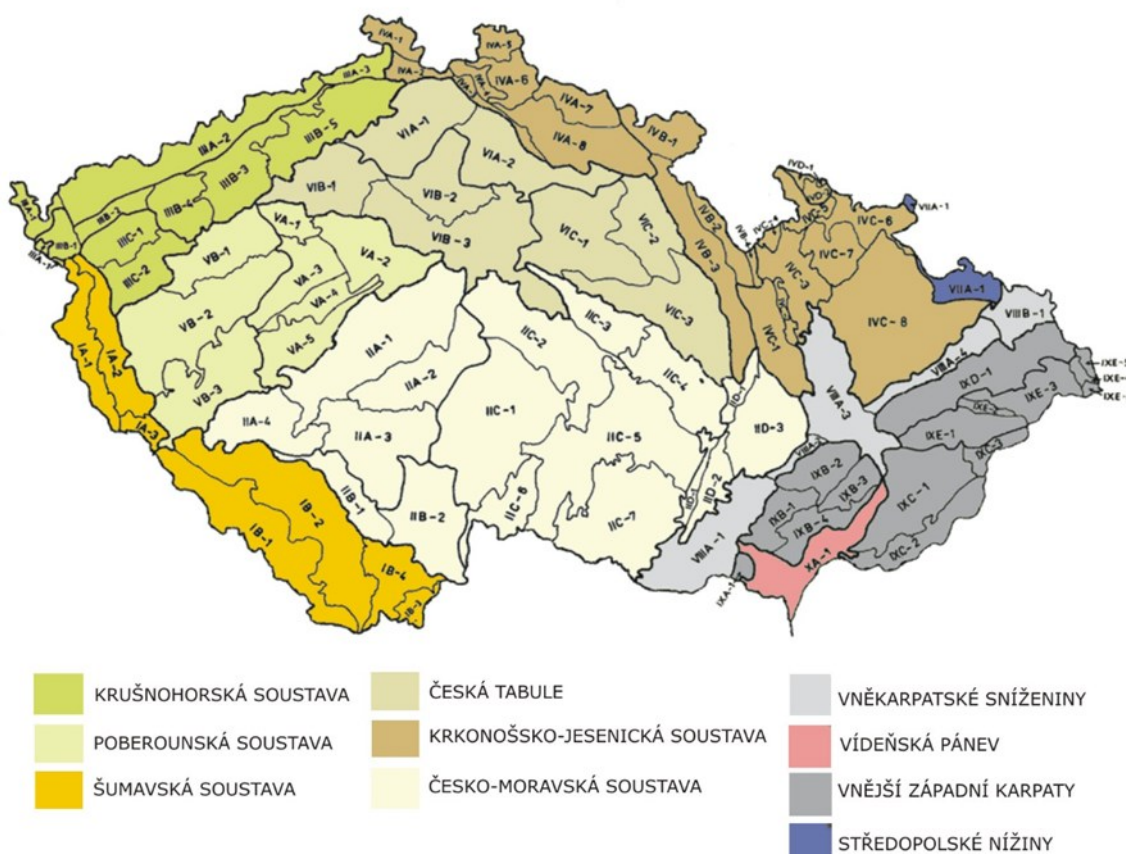


Obr. 15: Základní mapa sklonitosti terénu [14]

Ze západní i východní strany rychlostní silnice R46 se nachází orná půda. Ze západu vede souběžně s dálnicí silnice III/0462. Na východní straně se na polovině sesuvného území nachází těžko přístupný křovinatý porost. Za ním je v těsné blízkosti silnice pak bývalá pískovna, spadající do katastru obce Želeč, kde byla ukončena těžba v 70. letech.

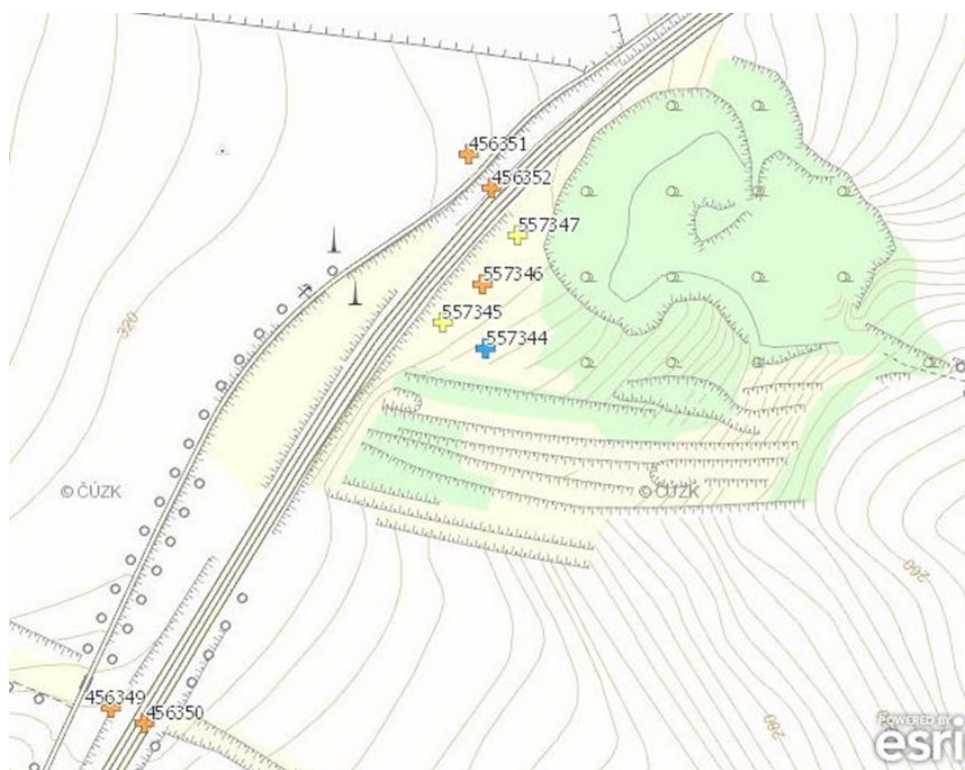
4.2 Geologické a hydrogeologické poměry

Z hlediska geomorfologického členění ČR se zájmové území nachází v provincii Západní Karpaty, v soustavě Vněkarpatské sníženiny, podsoustavě Západní Vněkarpatské sníženiny a celku Vyškovská brána. Vyškovská brána tvoří předěl mezi Česko – moravskou soustavou a Západními Karpaty, její dno je vyplněno třetihorními jíly, písky a čtvrtohorními sprašemi. [15]



Obr. 16: Geomorfologické členění soustav ČR [15]

K posouzení geologických poměrů posloužila osobní rekognoskace terénu, dále studium archivních materiálů České geologické služby – Geofond a hlavně IG průzkum z listopadu 2015, který je nedílnou součástí realizovaných průzkumných prací. Zájmové území se nachází v mapových listech pod číslem ZM50: 2442. Z archivu bylo získáno celkem 8 vrtů (Obr. 17), které se nacházely v nejbližším okolí posuzovaného úseku. 4 vrty sloužily k inženýrsko-geologickému průzkumu z roku 1978, tedy zhruba 10 let před výstavbou daného úseku komunikace R46. Zbylé 4 archivní vrty byly provedeny v roce 1995 a sloužily k hydrogeologickému průzkumu. Geologické profily těchto archivních vrtů byly velmi podobné (Příloha č. 1). Většina vrtů byla maximálně do hloubky 10 m, pouze jeden byl téměř do 50 m. Dle stratigrafického rozdělení to byly především sprašové hlíny, písčité hlíny a navážky v kvartéru, na úrovni neogénu pak hrubozrnné písky, ve větších hloubkách okolo 31 m pak pískovce. Všechny tyto archivní vrty byly označeny jako suché objekty, tedy bez zastižení HPV.



Obr. 17: Mapa vrtné prozkoumanosti zájmového území [16]

Po prozkoumání materiálů z České geologické služby nebyly v zájmovém území ani blízkém okolí zaznamenány žádné svahové nestability. Pouze část zájmového území může být dle mapy sesuvných území (Obr. 18) náchylná k sesouvání díky místním podmínkám.



Obr. 18: Mapa náchylnosti svahu k sesouvání [17]

Z osobní obhlídky terénu bylo zjištěno, že se v blízkosti zájmového sesuvného území nenachází žádné místní vodoteče. Lze tedy konstatovat, že zde působí pouze dešťová voda po povrchu z blízkých polí a dané geologické prostředí se chová jako kolektor. Ani v blízké bývalé pískovně nebyly nalezeny žádné prameny nebo jezírka, pouze vymletá koryta po dešťové vodě (Obr. 19).



Obr. 19: Vymletá koryta po dešťové vodě v blízké pískovně

V listopadu 2015 byla provedena geodetická měření firmou Geodetic s.r.o., Ostrava a inženýrsko – geologický průzkum firmou VBV GEO s.r.o., Havířov. Součástí IG průzkumu bylo provedení dvou průzkumných vrtů, ze kterých byly vyhotoveny geologické profily J-1 a J-2 (Obr. 20).



Obr. 20: Umístění průzkumných vrtů J-1 a J-2

Oba geologické profily jsou téměř shodné. V prvních 3 m jsou to jíly středněplastické a písčité, od 3 do 10 m se nachází písky s příměsí jemnozrnné zeminy. Průzkumný vrt J-1 (Příloha č. 2) byl umístěn v počátku zájmového úseku na 9,100 km, spolu s geodeticky zaměřeným příčným profilem 1. Příčný profil 2 byl zaměřen na 9,275 km tedy na konci úseku. Oba příčné profily a vrty jsou znázorněny v účelové mapě (Příloha č. 3). Průzkumný vrt J-2 (Obr. 21) leží téměř v polovině sesuvného území, ve vzdálenosti 85 m od počátku. Pro své umístění byl tento vrt dále použit v modelové analýze při posouzení stability tělesa komunikace R 46.

GEOLOGICKÝ PROFIL

vrt : J-2

název akce : IG průzkum svislé deformace na R46
v km 9,275, směr Olomouc
číslo akce : 25/2015

vrtné práce : VBV GEO s.r.o., Havířov
datum vrtání : 9.11.2015

hloubka (m) 1 : 50	zemin a horniny graficky	odběr vzorků hladina vody	třída symbol ČSN 72 1002 ČSN 75 2410	třída symbol EN ISO 14688-2	geneze	pojmenování a popis zemin a hornin dle makropopisu
1	I PLP		F6 CI	ciSi	eolická	0.0-0.9 m : jíl středněplastický, hnědý, rezavě smouhovaný, tuhý až pevný
2	I PLP		F6 CI	siCI		0.9-2.7 m : jíl středněplastický, světlehnědý, rezavě smouhovaný, tuhý až pevný
3	I PLP		F4 CS	saciSi		2.7-3.0 m : jíl písčité, světlehnědý, rezavě smouhovaný, ojediněle s valouny do 2 mm, tuhý
4	P				deluviální	
5			S3 S-F	saGr	eluviální	3.0-8.0 m : písek s příměsí jemnozrnné zeminy, šedohnědý, středně ulehlý, zavlhlý, od 4.1 m s valouny do 3 cm, ojediněle 15 cm
6						
7						
8			R4		sp. karbon	8.0-8.5 m : slepenec, šedohnědý, navětralý, středně tektonicky narušený
9						
10						

N - neporušený vzorek
PLP - poloporušený vzorek
P - porušený vzorek



hladina podzemní vody ustálená -
naražená -

Obř. 21: Geologický profil vrtu J-2 (materiál poskytnutý konzultantem DP)

5 Analýza stávajícího stavu sesuvného území, včetně matematického modelu



Obr. 22: Fotografie stávajícího stavu

5.1 Současný stav svahu

Na tělese komunikace R46 v km 9,100 – 9,275 se již delší dobu projevují náznaky nestability v podobě trhlin ve vozovce či poklesu svodidel (Obr. 24). Dále lze pozorovat slabé zátrhy ve svahu komunikace V březnu 2015 byl díky těmto poruchám částečně omezen provoz a následně byla provedena rekonstrukce svrchní části vozovky spolu s novými ocelovými svodidly. Tato částečná rekonstrukce však neslouží jako dlouhodobé řešení. Pokud v brzké době nebudou provedeny rekonstrukce většího rozsahu, vhodná sanační opatření, lze předpokládat obdobný vývoj v podobě poklesu a trhlin ve vozovce.



Obr. 23: Lokální porucha v km 9,193 - trhlina podélná rozvětvená (materiál poskytnutý konzultantem DP)



Obr. 24: Lokální porucha v km 9,275 – pokles svodidel (materiál poskytnutý konzultantem DP)

Je patrné, že tyto poruchy vznikly z kombinace několika působících vlivů. Zprvu jsou to dynamické účinky od dopravy, která za poslední desetiletí několikanásobně vzrostla, spolu s nepříliš vyhovujícím podložím pod násypem. Dále samotné těleso násypu, u kterého nebyla zjištěna jeho konstrukce. Při zhotovování konstrukce násypu v minulosti mohlo dojít k nevhodnému zvolení materiálu nebo uspořádání vrstev.

Podstatné je také působení povrchové vody na těleso násypu po vydatných srážkách. Na celém vyšetřovaném úseku voda stéká z vozovky na těleso násypu a odplavuje tak části materiálu násypu. K odvodnění kdysi sloužily betonové odvodňovací žlaby po obou stranách komunikace s přirozeným spádem k jihu. Jak je možno vidět z fotografií (Obr. 25,26), údržba tohoto odvodňovacího systému nebyla provedena řadu let. Betonové žlaby jsou plně zarosteny vegetací a voda stéká jak z komunikace, tak ze západní strany z polí.



Obr. 25: Východní strana násypu



Obr. 26: Západní strana násypu

5.2 Geodetické zaměření příčného profilu

Pro potřeby matematického modelování bylo nutné získat data pro zhotovení příčného řezu, který byl zvolen uprostřed vyšetřovaného úseku. Geodetické zaměření bylo provedeno 3. června 2016. Samotné zaměření probíhalo pomocí totální stanice LEICA TPS1200 a měřicí latě ze dvou stanovišť.



Obr. 27: Geodetické zaměření příčného profilu ze stanoviště 2

Nejprve ze stanoviště 1, z východní strany násypu. Stroj se podařilo umístit přímo na průzkumný vrt J-2 a zaměřila se pouze pravá část od stroje, jelikož směr ke komunikaci byl zarosten vysokým křovím. Poté se zaměřovalo ze stanoviště 2, kde se stroj umístil v blízkosti silnice III. třídy. Zaměřené hodnoty, vpravo a vlevo, se zaznamenaly (Tab. 1). Pomocí totální stanice byly naměřeny hodnoty horizontálních a vertikálních úhlů a horizontální vzdálenost od stroje k měřicí lati. Z naměřených hodnot byl zhotoven příčný řez v softwaru Autocad (Příloha č. 4). Hodnoty od stanoviště 1 vlevo po střed komunikace R46, které se kvůli značnému porostu nepodařilo zaměřit, byly odečteny z účelové mapy (Příloha č. 3).

Tab. 1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro zhotovení příčného profilu

Umístění stroje	Směr měření	Hz	Vz	Vz	Rozdíl	Vzd.horiz.
		gon	gon	°	°	m
Stanoviště 1	vpravo	276,75	297,78	268,00	2,00	27,27
Stanoviště 2	vpravo	332,40	291,10	261,99	8,01	13,96
		332,14	293,24	263,91	6,09	27,73
		331,18	295,08	265,57	4,43	43,55
		332,18	295,72	266,15	3,85	61,25
		332,42	297,81	268,03	1,97	66,05
		332,87	298,19	268,37	1,63	76,70
	vlevo	135,56	306,30	275,67	-5,67	8,98
		137,88	297,64	267,87	2,13	14,38
		135,14	299,39	269,46	0,54	27,97

Umístění stroje	Výška stroje	Výška latě	Rozdíl
	cm	cm	cm
Stanoviště 1	137	170	33
Stanoviště 2	156	210	54

5.3 Matematický model stávajícího stavu

Výpočetní software Plaxis 2D byl vytvořen holandskou společností Plaxis speciálně k řešení deformačních a stabilitních analýz v geotechnických úlohách. Software pracuje na numerické metodě konečných prvků. Tento komplexní výpočtový software umožňuje řešit jak hydrostatické, tak hydrodynamické účinky vody v zeminách a vzájemné působení mezi konstrukcí (výztuž, kotvy, podzemní stěny) a zeminou. Dále je možno simulovat proces konsolidace, tedy působení času na geotechnickou konstrukci. Model se dá rozčlenit do

jednotlivých fází, tak jak byla konstrukce budována ve skutečnosti. Lze simulovat a tím odhadnout budoucí vývoj konstrukce. Stupeň stability je zde definovaný jako poměr mezi maximální smykovou pevností a minimální smykovou pevností, která je nutná pro udržení rovnováhy.

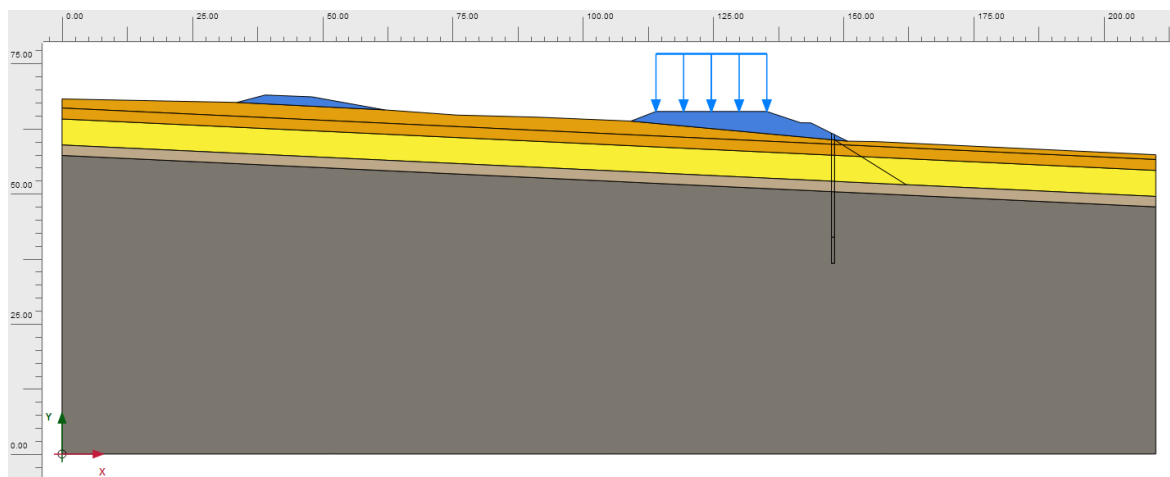
5.3.1 Příprava pro modelování

Pro import do prostředí Plaxis 2D sloužil předem připravený příčný řez v softwaru Autocad. Nejprve bylo nutné dodržet základní náležitosti před importem. Profil byl rýsován v metrech a celkový řez byl umístěn do počátku souřadnicového systému, následně byl řez uložen ve formátu dxf a byl importován do pracovního prostředí Plaxis 2D.

Poté bylo třeba zadat typy zemin dle geologického profilu J-2 a ke každé z nich přiřadit jejich materiálové charakteristiky (Tab. 2). Návrh modelu byl zjednodušen o sjednocení dvou geologických vrstev siCl a saclSi, kvůli malé mocnosti druhé z vrstev. Zeminy byly definovány Mohr – Coulombovým konstitučním vztahem, kdy se materiál chová až do meze plasticity pružně, po jejím překročení vznikají plastická přetvoření při konstantním napětí. Pro použití tohoto konstitutivního modelu je zapotřebí minimálně 5 základních materiálových charakteristik: objemová tíha γ , úhel vnitřního tření ϕ_{ef} , Poissonovo číslo ν , soudržnost c_{ef} a modul přetvárnosti E_{def} . Materiály se chovají odvodněle, tedy s velkou propustností, proto byl zvolen typ prostředí Drained.

Tab. 2: Mechanicko-fyzikální parametry zemin pro model [4]

Horninové prostředí		Hloubka	γ	ϕ_{ef}	ν	c_{ef}	E_{def}	k_x
		[m]	[kN/m ³]	[°]	[-]	[kPa]	[MPa]	[m/day]
šterk hlinitý	siGr	násyp	19	32	0,3	4	70	0,09
hlína jílovitá	clSi	0 - 0,9	21	19	0,4	16	6	0,000036
jíl hlinitý	siCl	0,9 - 3	21	19	0,4	16	6	0,000036
šterk písčité	saGr	3 - 8	17,5	29	0,3	0	16	3,6
dosti měkké horniny	R4	8 - 10	24	40	0,25	100	600	0,0000036
měkké horniny	R5	10 - 60	20	70	0,25	150	200	0,0000036



Obr. 28: *Náhled modelu v softwaru Plaxis 2D*

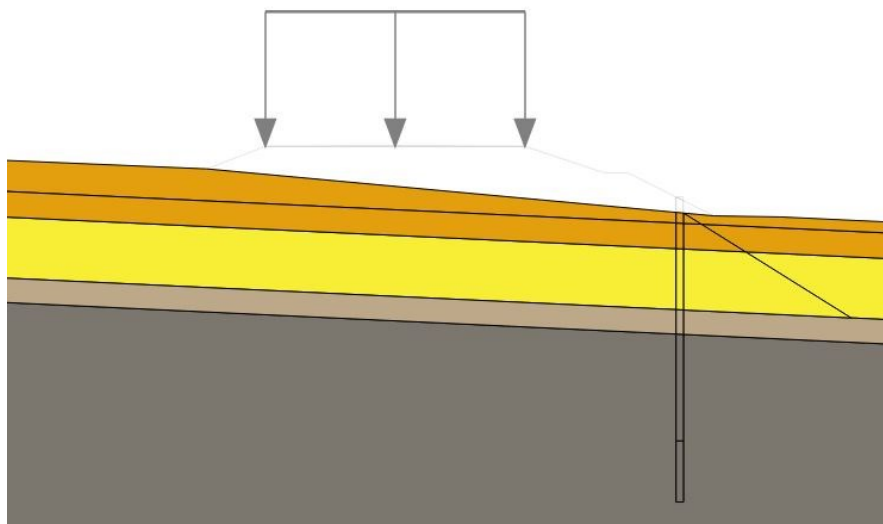
5.3.2 Fáze modelování

Pro dosažení správných výsledků je třeba model rozfázovat, tedy dodržet postup prací jak tomu bylo ve skutečnosti. Po přiřazení zemin byla vygenerována síť konečných prvků a u varianty s vodou nastavena její hladina. Poté bylo provedeno samotné rozfázování. Pro posouzení stability stávajícího stavu byly zvoleny dvě situace. Jelikož dle vrtné prozkoumanosti tohoto území nebyla ve vrtech zjištěna hladina podzemní vody, byla nejprve modelována situace bez vody. Situace s vodou byla zvolena jako nejhorší možný stav pro toto území, kdy by bylo horninové prostředí i s násypem plně nasyceno vodou při extrémních srážkách.

Původní stav bez vody

0. Fáze – iniciační

Iniciační fáze slouží k aktivaci původní napjatosti v horninovém prostředí. V této fázi byl zvolen způsob výpočtu počátečních podmínek jako Gravity loading, tohoto typu je nutné využít právě u ukloněného terénu (nehorizontální uspořádání vrstev).

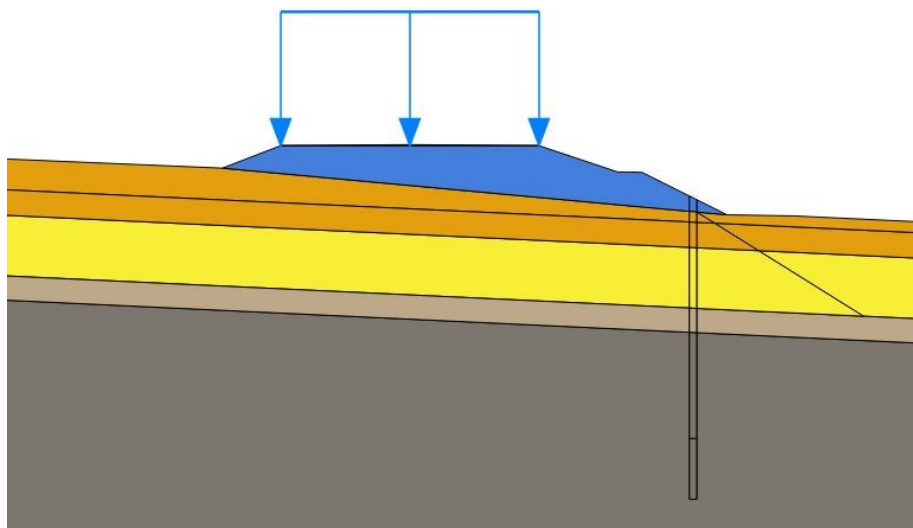


Obr. 29: Iniciační fáze

1. a 2. Fáze – násyp a zatížení

Způsob výpočtu byl nastaven na Plastic, jelikož se jedná o elastoplastickou deformační analýzu. V těchto fázích je nutné resetovat posuny (Reset displacement to zero).

1. fáze vychází z fáze iniciační. V 1. fázi bylo aktivováno těleso násypu. Ve 2. fázi bylo přidáno zatížení od dopravy o velikosti 20 kN/m, tato fáze navazuje na 1. fázi.



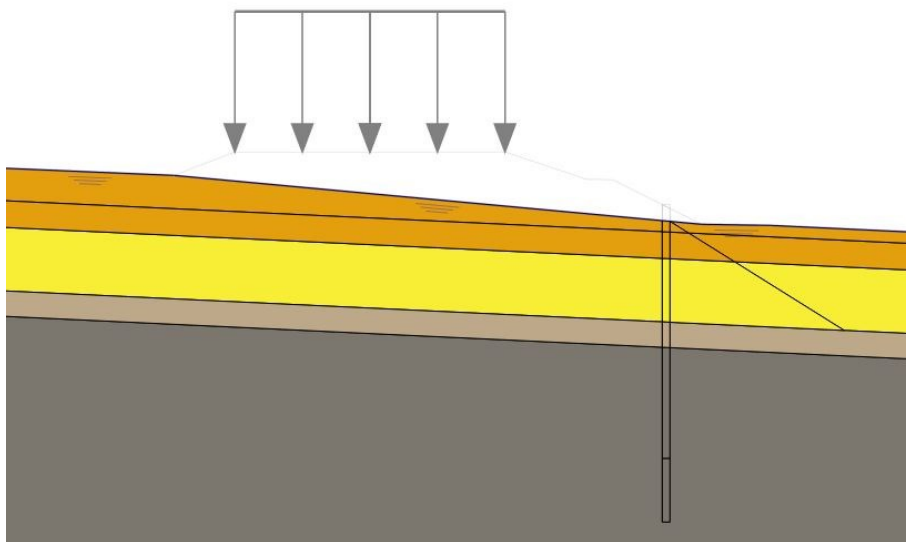
Obr. 30: Fáze přidání násypu a zatížení od dopravy

3. Fáze – stabilita

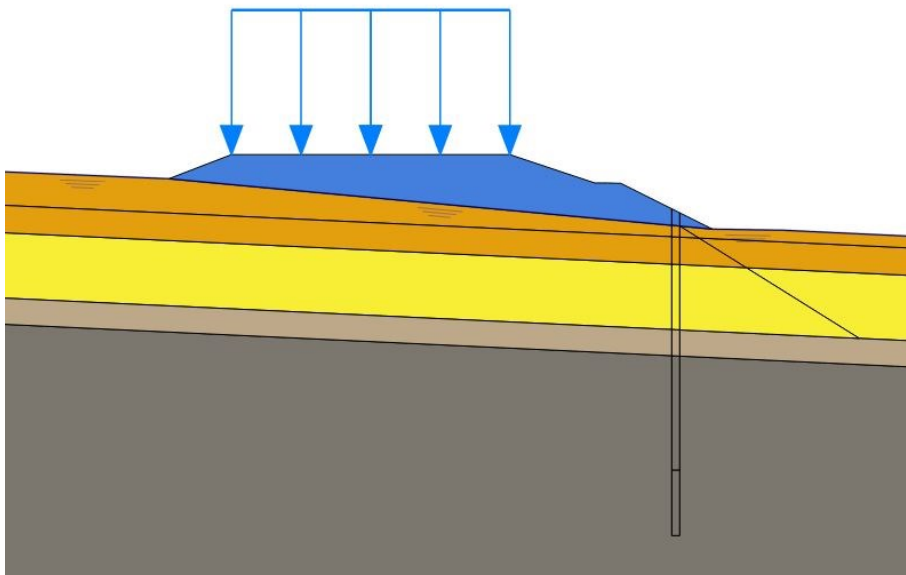
Zde byl nastaven způsob výpočtu na Safety a tato fáze pro posouzení stability svahu vycházela z 2. fáze. Posuny nebyly resetovány.

Původní stav s vodou

Všechny fáze byly nastaveny stejně jako pro situaci bez vody.

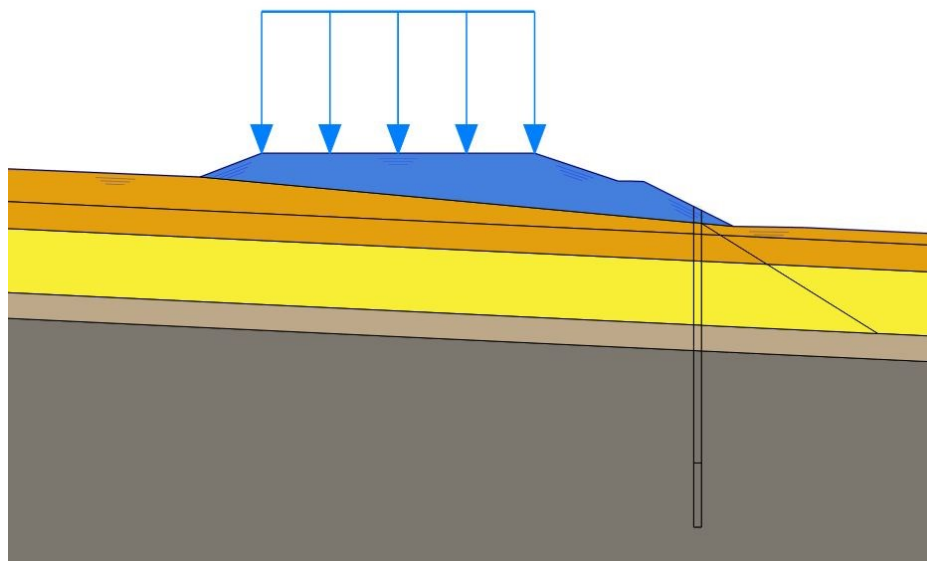
0. Fáze – iniciační

Obr. 31: Iniciační fáze

1. a 2. Fáze – násyp a zatížení

Obr. 32: Fáze přidání násypu a zatížení od dopravy

3. Fáze – voda v násypu



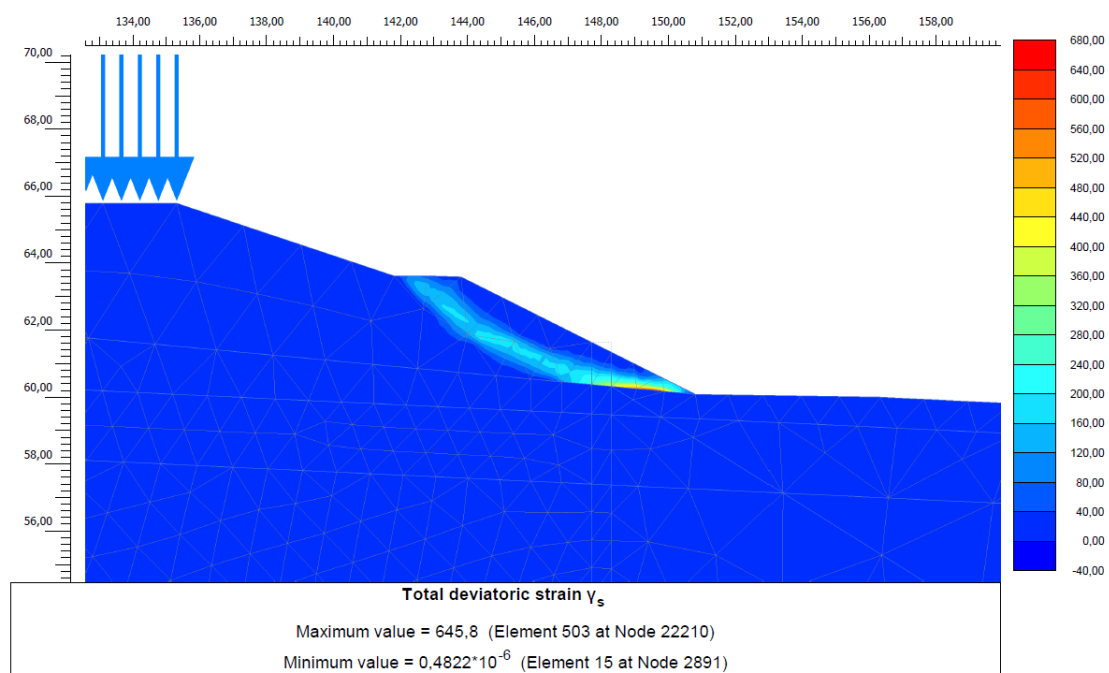
Obr. 33: Fáze zvýšení hladiny vody do násypu

4. Fáze – stabilita

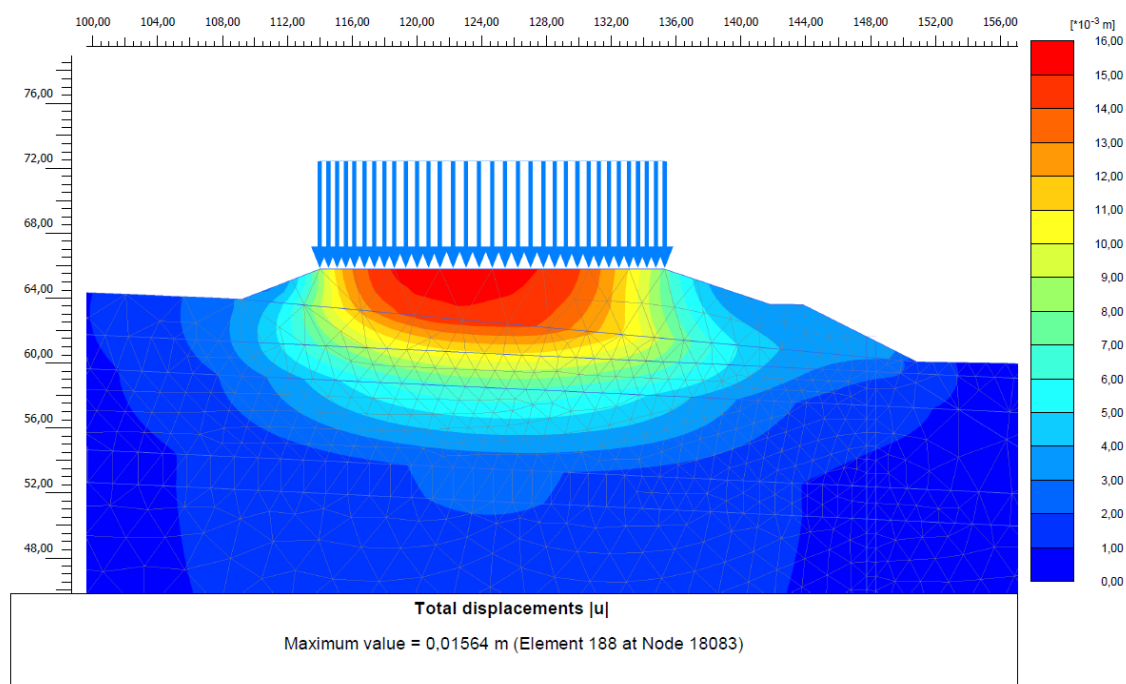
Fáze byla nastavena pro výpočet stability obdobně jako bez vody a vycházela z předchozí fáze.

5.3.3 Výsledky stávajícího stavu bez vody

Výsledky numerické analýzy byly zaměřeny na vyhodnocení stability svahu a posunů. Výstupem pro posouzení stability je smyková plocha (Obr. 34). Stupeň stability ΣM_{sf} je pro tento stav roven 2,130, svah je tedy stabilní. K největšímu přetvoření dochází v patě na rozhraní geologických vrstev násypu a jílu. Maximální posuny činí 0,01564 m díky zatížení a jsou soustředěny nejvíce uprostřed tělesa násypu (Obr. 35).



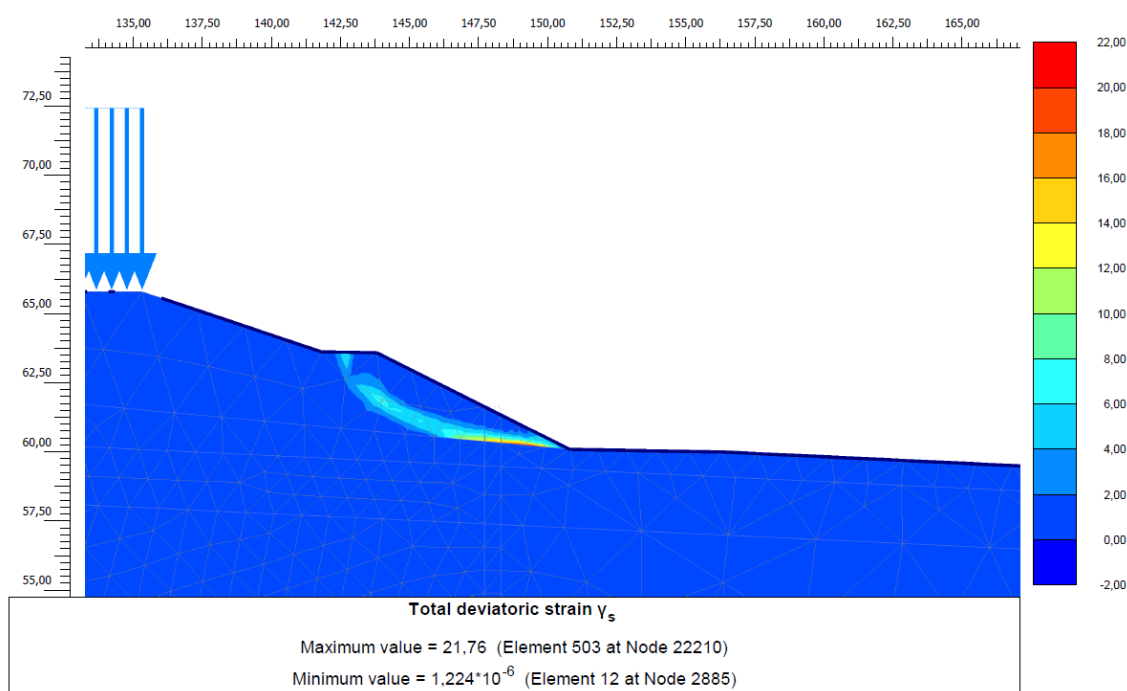
Obr. 34: Smyková plocha



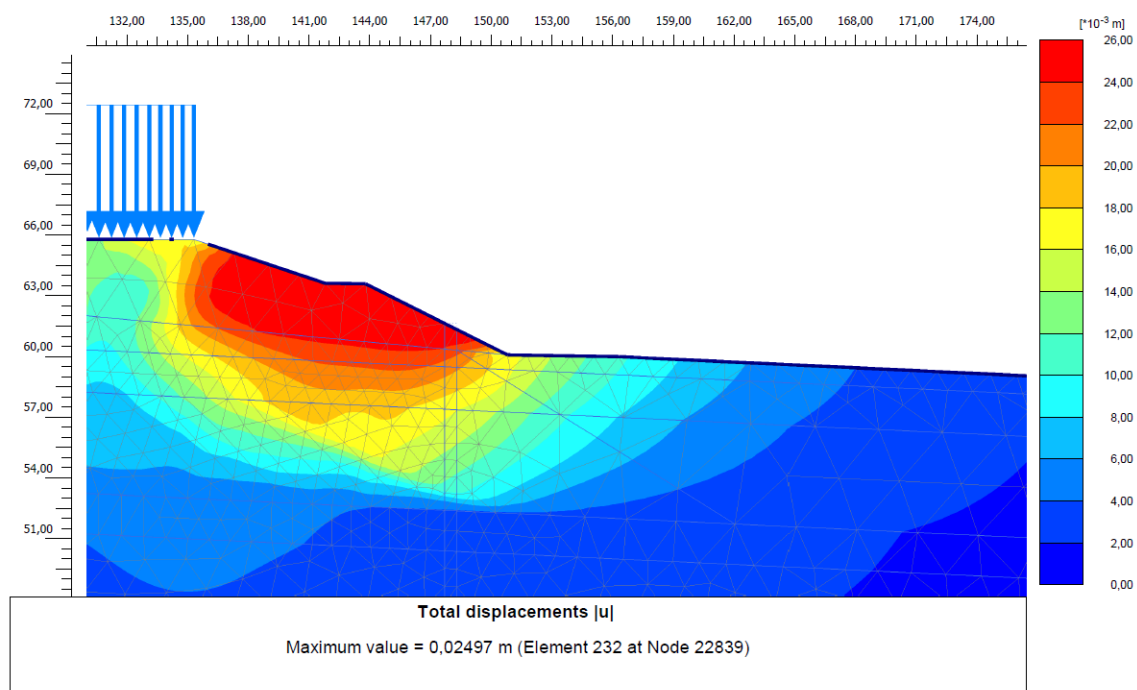
Obr. 35: Maximální posuny

5.3.4 Výsledky stávajícího stavu s vodou

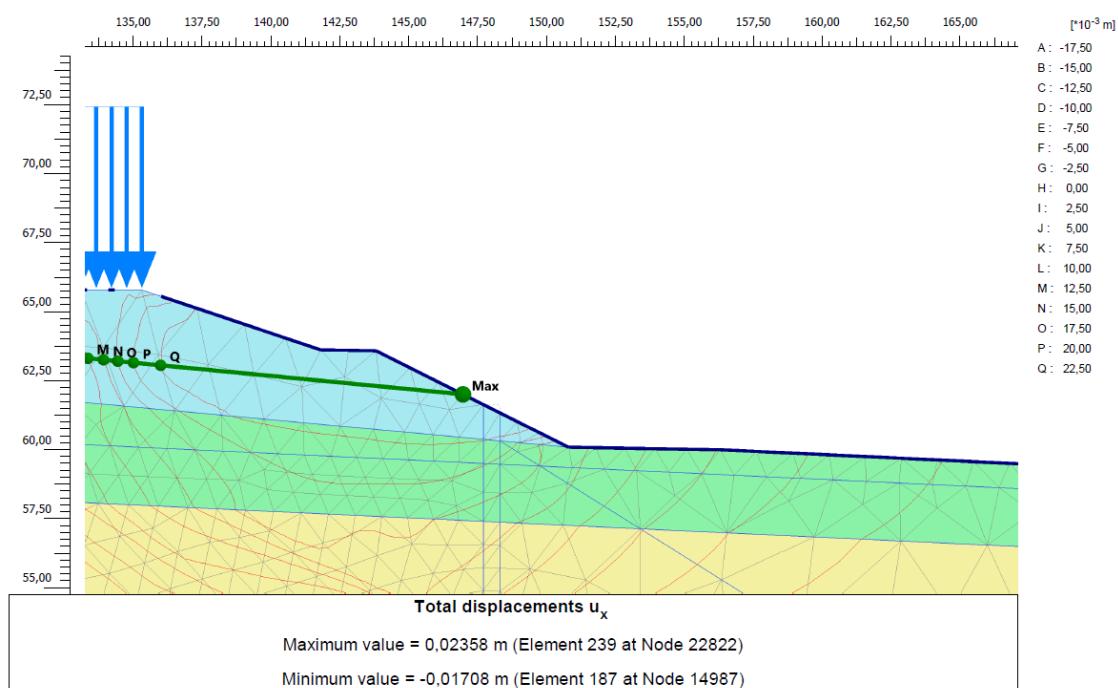
U této situace je uvažován nejhorší možný stav, který by mohl nastat při extrémních srážkách. V modelu byla zvolena stoprocentní saturace, tedy plné nasycení tělesa vodou. Úroveň hladiny je znázorněna výše ve 3. fázi – voda v násypu. Tvar smykové plochy (Obr. 36) je obdobný jako pro variantu bez vody, ale stupeň stability ΣM_{sf} se díky působení vody značně snížil na hodnotu 1,137. Svah je tedy z dlouhodobého hlediska nestabilní. K největším posunům dochází dle předpokladu ve spodní části svahu (Obr. 37), jejich hodnota je 0,02497 m. Převažují především horizontální posuny $u_x = 0,02358$ m (Obr. 38). Dle těchto maximálních posunů byl pak uvažován návrh a především umístění stabilizačních opatření.



Obr. 36: Smyková plocha



Obr. 37: Maximální posuny

Obr. 38: Horizontální posuny ve směru x

6 Návrh variantních sanačních opatření

6.1 Odvodnění

Odvodnění je jedním z nejdůležitějších prvků sanačních opatření. Je zapotřebí docílit snížení pórového tlaku na smykové ploše, tím se sníží působení aktivních sil. Rozlišujeme dva typy odvodnění svahů, povrchové a hloubkové.

Povrchové odvodnění má za úkol zachytit a co nejrychleji odvádět všechny blízké vodoteče a srážkovou vodu mimo sesuvné území. K okamžité provizorní sanaci sesuvu lze využít vykopání rýhy po spádnicí nebo se používají různá potrubí a hadice, které se dají rychle přemísťovat dle potřeby. Pro sanaci uklidněných sesuvů se zhotovují otevřené příkopy k odvedení dešťových vod do místních vodotečí nebo kanalizací. Tyto příkopy bývají často vydlážděny betonovými dlaždicemi nebo jsou zhotoveny z prefabrikovaných koryt, jsou dimenzovány s přiměřeným spádem. Odvodňovací zařízení si vyžaduje neustálou kontrolu a údržbu.

Pomocí hloubkového odvodnění je voda odváděna z větších hloubek pomocí odvodňovacích vrtů. U vertikálních a šikmých drenážních vrtů je nutné zajistit jejich vyústění až do propustného podloží, aby stahovaly vodu. Horizontální vrty jsou konstruovány perforovanou pažnicí, díky perforaci lze snadněji provádět údržbu propláchnutím tlakovou vodou. Perforované potrubí bývá ocelové nebo z vysoce jakostního PVC-U. Voda je stahována z okolí horizontálními vějířovitými vrty do studní, ze kterých se voda odvádí do povrchových vodotečí pomocí čerpání nebo dalšího horizontálního vrtu. Ke zvýšení účinnosti odvodňovacích vrtů se využívá štěrkových pilot nebo podzemních stěn, které jsou vyplněny štěrkem. [1]



Obr. 39: Horizontální odvodňovací vrty [18]

6.2 Pilotová stěna

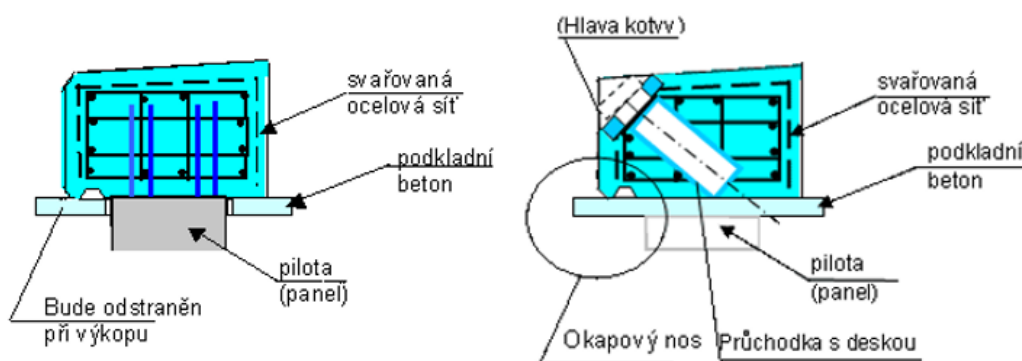
Velkopřůměrové pilotové stěny se často používají k zabezpečení svahů u důležitých dopravních komunikací nebo jako pažení výkopů stavebních jam. Hloubka ukotvení bývá značně pod smykovou plochou. Je nutné zachovat přirozený režim podzemních vod, proto se musí pilotové stěny dokonale odvodnit. Zhotovení pilot je efektivní a rychlé, ale po finanční stránce náročné.



Obr. 40: Pilotová pažící stěna s převázkou a kotvami (start. jáma pro TBM Ejpvovice 2014)

Průměry zhotovovaných pilot bývají v rozmezí 0,6 až 1,2 m a světlá vzdálenost mezi nimi se pohybuje od 0,2 m do 0,6 m. Provádí se za pomoci strojního vrtání vrtným šnekem. Ve stabilních soudržných zeminách, bez přítomnosti vody, lze provádět vrt zcela nepažený, avšak ve většině případů je nutno vrt pažit. Jako pažení se používá ocelová výpažnice, bentonitová či jílová suspenze. Nebo se použije tzv. kontinuální vrtačka CFA, která po dosažení dna do vrtu pouští betonovou směs přes vrtný nástroj. Následně se do vrtu vloží výztuž v podobě armokoše a vrt se zabetonuje pomocí betonovací roury s násypkou.

U trvalých pilotových stěn se dále provádí železobetonová převážka umístěná zpravidla v hlavě pilot nebo jinde ve výšce stěny. Již při provádění samotných pilot je nutné, aby podélná výztuž pilot vyčnívala nad jejich hlavy a bylo ji pak možno provázat s železobetonovou převázkou (Obr. 41). Postup zhotovování je následující. Nejprve se hlavy pilot začistí a provede se cca 5 cm vrstva vyrovnávacího podkladního betonu. Poté se položí vodorovná výztuž převázky, prováže se s výztuží pilot, aby došlo ke spolupůsobení s pilotovou stěnou. Pokud je nutno pilotovou stěnu kotvit, tak se zároveň s výztuží osazují ocelové trubky s kolmou ocelovou deskou, které plní funkci průchodek pro pozdější instalaci kotev (Obr. 41). Nainstaluje se bednění a převážka se zabetonuje. Beton se zavibruje, aby z betonu unikly vzduchové bubliny. Okraj převázky bývá opatřen tzv. okapovýmnosem k odvodu ztékající vody. Na líc pilotové stěny se na závěr osadí většinou vrstva dvou svařovaných ocelových sítí, které jsou pomocí trnů uchyceny ke stěně a zastříkají se betonem. Nesmí se však zapomenout na odvod vody. Za rubem stěny jsou umístěny vertikální drenáže (plastové perforované drenážní trubky obalené geotextilií), které jsou vyvedeny ve spodní části před líc. [19]



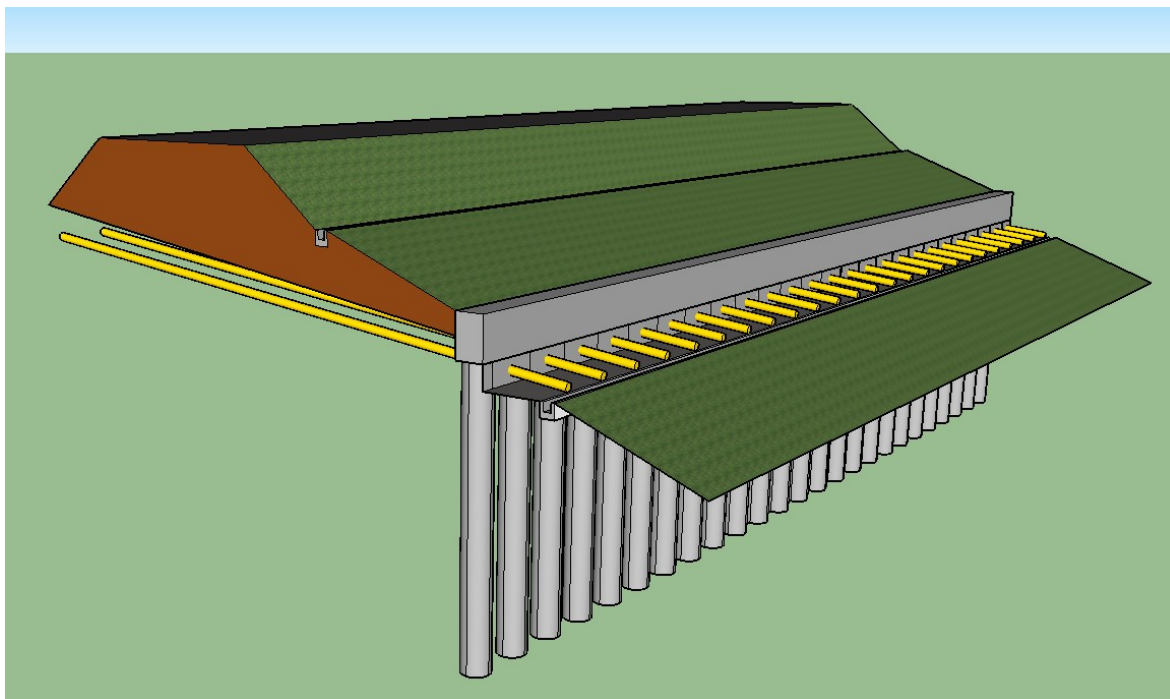
Obr. 41: ŽB převážka v hlavě pilot [19]

6.3 Výsledný návrh sanačních opatření

Kombinace dvou výše uvedených sanačních opatření se zdála být nejvhodnější variantou pro stabilizaci zájmového území. Pro představu výsledného návrhu byl vytvořen zjednodušený 3D model (Obr. 42).

V první části je na daném úseku zhotovena pilotová podzemní stěna s převázkou v hlavách pilot. Samostatné piloty byly navrženy o průměru 0,6 m a délky 20 m. Pomocí vrtného šneku se piloty vyhloubí a zároveň paží ocelovou výpažnicí. Materiál pilot byl zvolen z betonu C20/25 a betonářské oceli třídy 10 505. Počet pilot 146 ks byl zvolen dle osové vzdálenosti 1,2 m mezi pilotami. Po vybudování všech pilot se zhotoví železobetonová převázka o rozměrech 0,8 x 0,4 m.

Po provedení pilotové stěny a převázky je nutné zemní těleso odvodnit. Bylo navrženo 73 ks horizontálních odvodňovacích vrtů sloužících k hloubkovému odvodnění. Vrtů délky 45 m byly situovány mezi jednotlivé piloty. Drenážní potrubí je možno zvolit z jakostního PVC-U nebo oceli, potrubí jsou perforovaná z horní části. Dále je nutno provést celkovou rekonstrukci odvodňovacích žlabů sloužících k odvedení srážkových vod na povrchu po obou stranách komunikace.



Obr. 42: Zjedodušený 3D model navržených sanačních opatření

7 Modelová analýza navržených sanačních opatření

Stávající stav svahu, který byl plně nasycen vodou, vykazoval dle numerického modelu nestabilitu. Proto bylo nutné navrhnout účelná stabilizační opatření. Byla navržena kombinace dvou stabilizačních opatření, pilotová stěna spolu s horizontálními odvodňovacími vrty. Modelová analýza vycházela z modelu stávajícího stavu s vodou.

Materiál piloty byl pro výpočet nastaven jako lineárně elastický (Linear elastic) a mechanicko-fyzikální parametry byly voleny pro beton C 20/25. Objemová tíha $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, Poissonovo číslo $\nu = 0,2$ a modul přetvárnosti $E_{\text{def}} = 29 \text{ GPa}$.

Po modelové analýze navržené kombinace stabilizačních opatření byl vytvořen obdobný model, u kterého se simuloval možný kolaps pískovny.

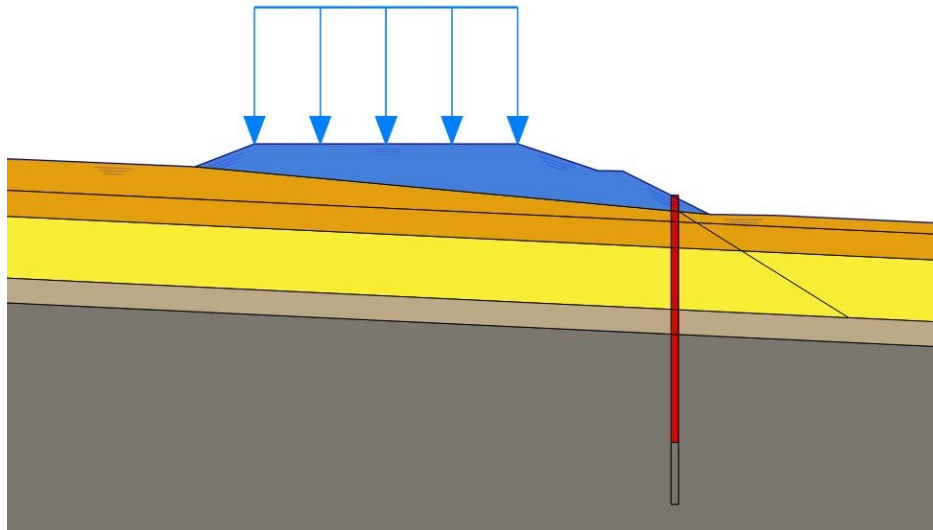
7.1 Fáze modelování

Následující fáze přímo navazují na předchozí stávající stav s vodou v kapitole 5.3.2, jelikož se jednalo o nejhorší možný stav, který by mohl nastat po vydatných srážkách. Jsou zde popsány jednotlivé fáze pro kombinaci stabilizačních opatření a poté pro simulaci kolapsu pískovny.

Kombinace stabilizačních opatření

5. a 6. Fáze – pilota

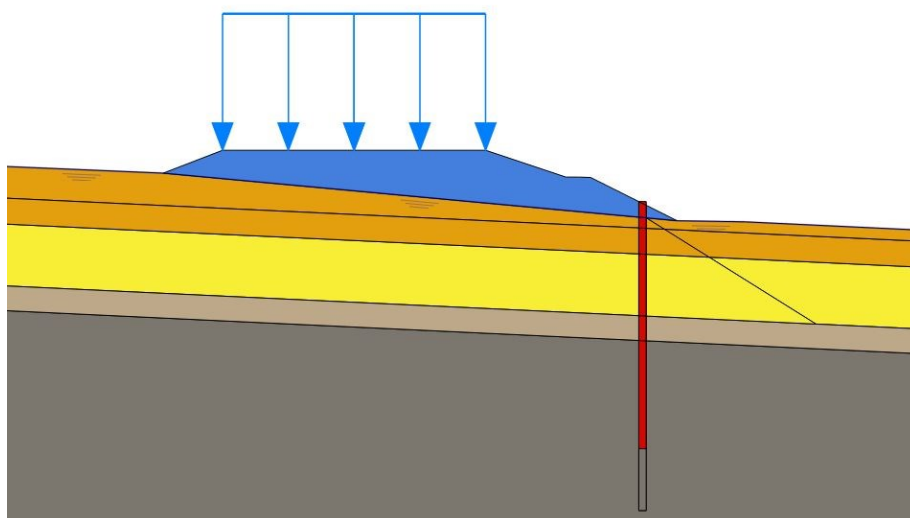
5. fáze vycházela z 3. fáze pro variantu s vodou, byla zde nainstalována pilota o průměru 0,6 m a délky 20 m. Její umístění se volilo dle místa, kde docházelo k největším posunům. V 6. fázi byla počítána stabilita.



Obr. 43: Fáze instalace piloty

7. a 8. Fáze

Na závěr v 7. fázi bylo simulováno odvodnění násypu na úroveň jílových vrstev podloží. Tato fáze navazovala na 5. fázi, kdy byla zabudována pilota. Nakonec byla nastavena 8. fáze pro vyhodnocení celkové stability svahu po instalaci stabilizačních opatření.

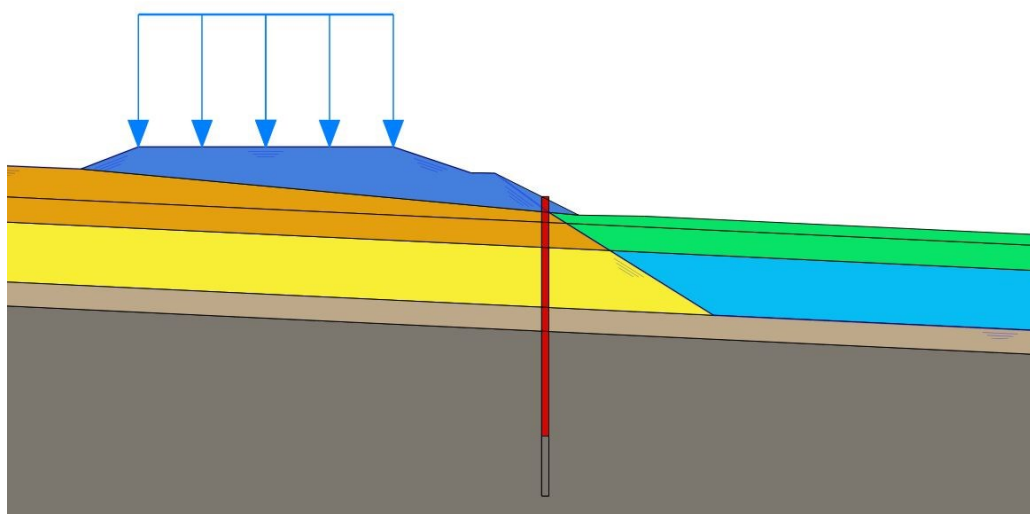


Obr. 44: Fáze odvodnění násypu

Fáze modelové analýzy – kolaps pískovny

7. a 8. Fáze

Fáze simulování kolapsu pískovny vycházela z 5. fáze – instalace piloty. V této fázi byly sníženy mechanicko-fyzikální parametry zemín prvních třech geologických vrstev na polovinu původních hodnot (Obr. 45). Dále se u těchto zemín manuálně měnily koeficienty bočního tlaku K_0 na hodnotu 0,5. Úhel pro simulaci usmýknutí byl volen dle úhlu vnitřního tření zeminy saGr a jeho hodnota byla 29° .

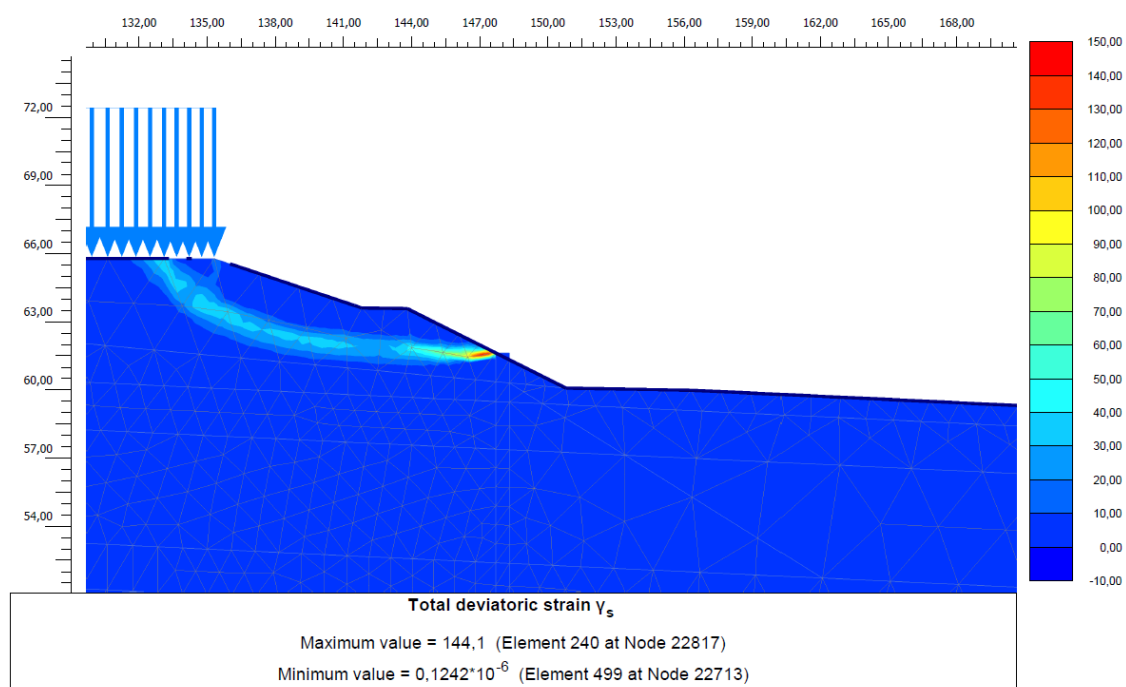


Obr. 45: Fáze simulace kolapsu pískovny

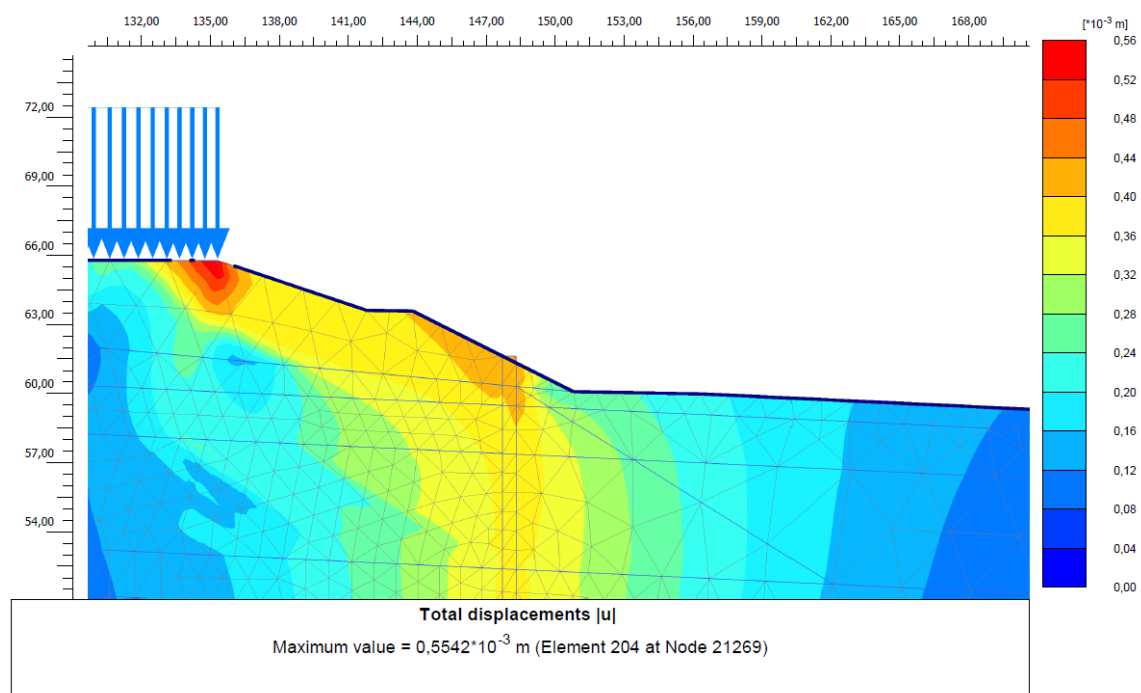
7.2 Vyhodnocení výsledků modelové analýzy

Pilotová stěna

Toto stabilizační opatření zvýšilo dle očekávání stupeň stability ΣM_{sf} na hodnotu 1,471. Průběh kruhové smykové plochy se oproti stávajícímu stavu posunul (Obr. 46), stabilizační opatření tedy splnilo očekávaný účel. Po instalaci piloty se maximální posuny snížily na zanedbatelných 0,5542 mm, kumulují se na hranici komunikace (Obr. 47). V okolí hlavy piloty se posuny pohybují okolo 0,4 mm.



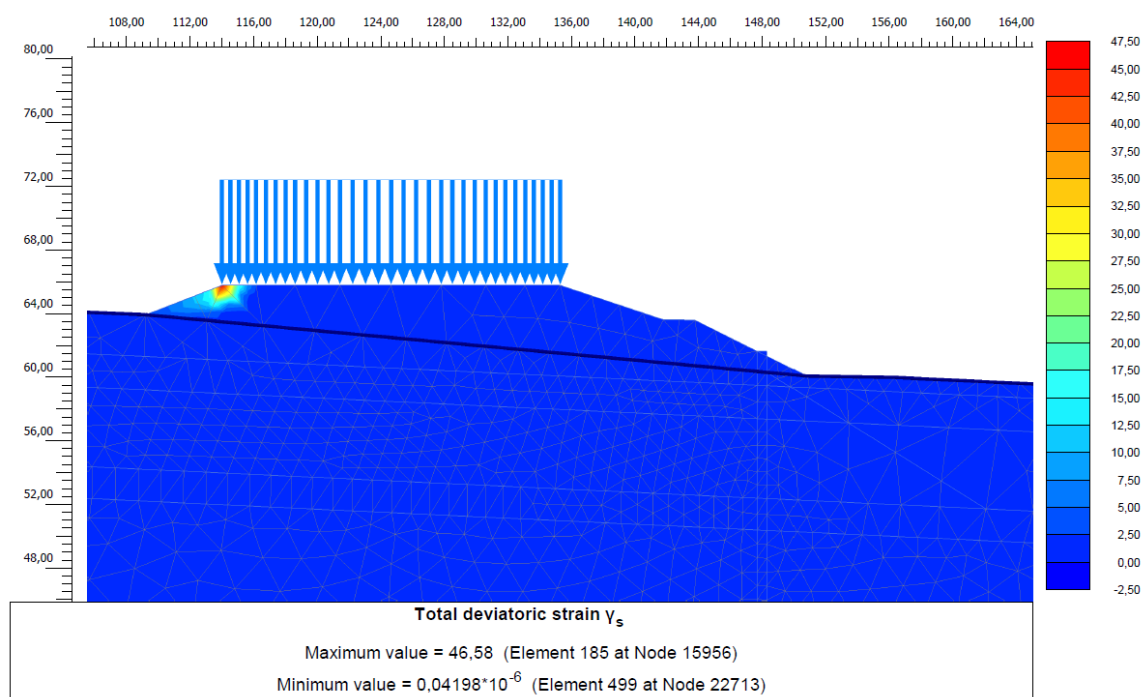
Obr. 46: Smyková plocha



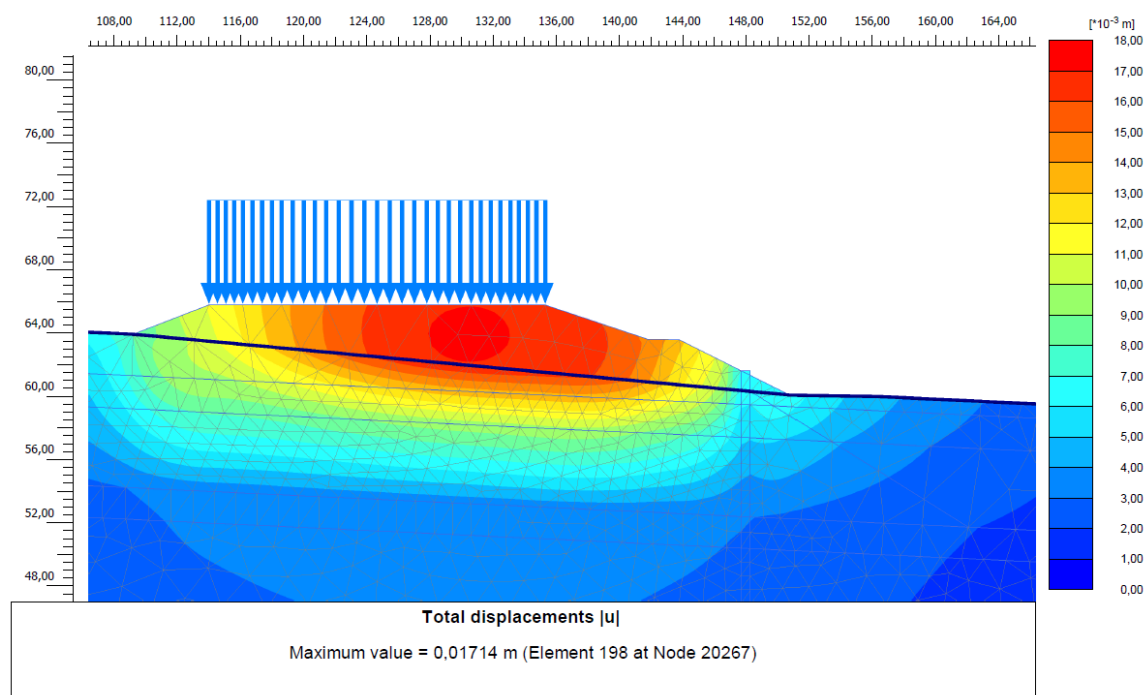
Obr. 47: Maximální posuny

Odvodnění násypu

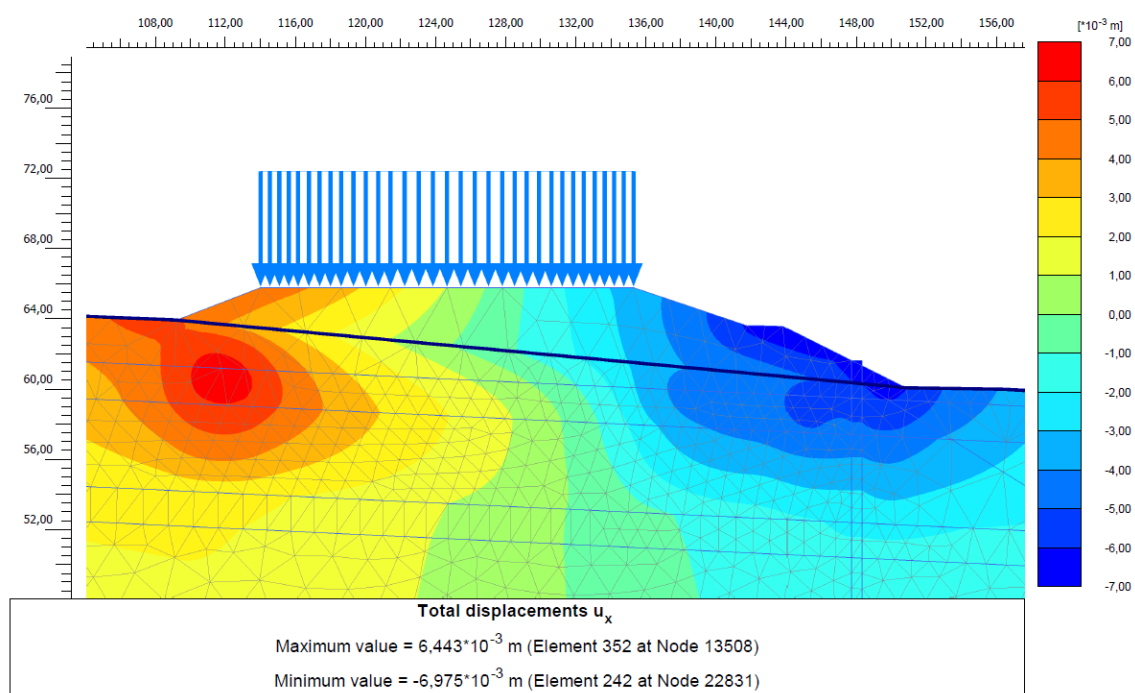
Pro systém odvodnění svahu byly zvoleny horizontální odvodňovací vrty spolu v kombinaci s pilotovou stěnou. Smyková plocha se vytvořila na druhé straně násypu u krajnice (Obr. 48). Stupeň stability ΣM_{sf} této smykové plochy byl 2,349. Výpočetní software vykresluje v modelu vždy pouze nejkritičtější smykovou plochu. Proto bylo vyhodnoceno, že po odvodnění byl vyšetřovaný svah stabilní a hodnota stupně stability byla vyšší než 2,349. Maximální posuny se nejvíce kumulovaly uprostřed násypu (Obr. 49), jejich hodnota činila 0,01714 m a převládala především ve vertikálním směru. V místě vzniklé smykové plochy byly posuny okolo 0,011 m. V horizontálním směru se posuny pohybovaly maximálně do 7 mm (Obr. 50) směrem do tělesa, díky snížení pórového tlaku mezi zrny po odvodnění.



Obr. 48: Smyková plocha



Obr. 49: Maximální posuny

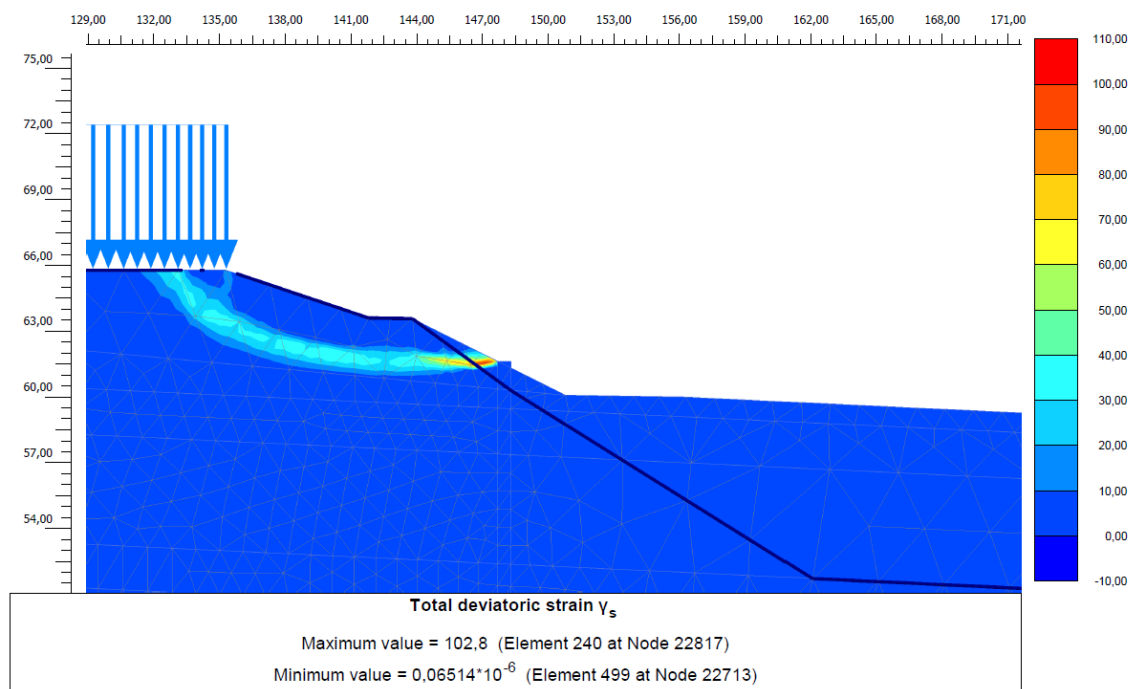


Obr. 50: Horizontální posuny ve směru x

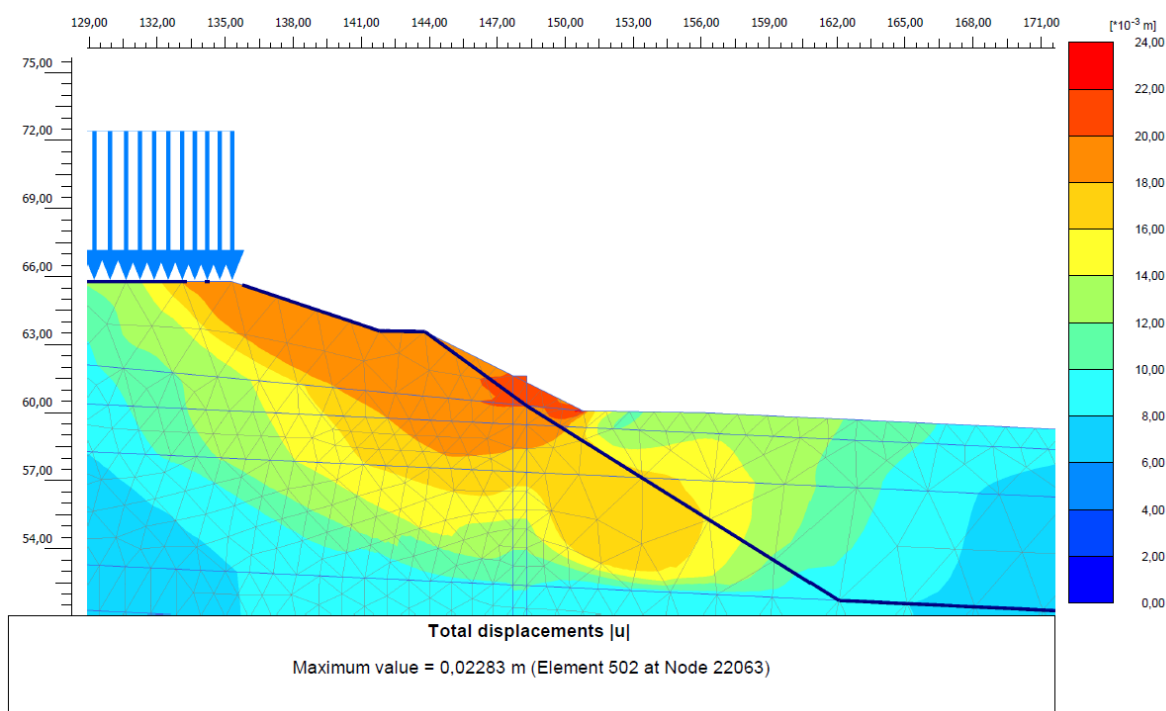
Kolaps pískovny

Pro tuto situaci byl vytvořen třetí model, ten vycházel z modelu předešlých navržených stabilizačních opatření. Úkolem bylo zjistit, jestli navržená pilotová stěna udrží svah tělesa násypu, pokud by došlo k náhlému rozvolnění zeminy ve směru k pískovně.

Díky snížení parametrů zemin a koeficientů bočních tlaků vyšel svah tělesa komunikace stabilní. Stupeň stability $\Sigma M_{sf} = 1,523$. Pokud by došlo ke kolapsu pískovny a k rozvolnění horninového prostředí směrem k ní, samotná pilotová stěna by měla svah udržet stabilní. K maximálním posunům 0,02283 m docházelo v okolí hlavy piloty (Obr. 52), převládaly horizontální posuny směrem k pískovně.



Obr. 51: Smyková plocha



Obr. 52: Maximální posuny

8 Přibližná cenová kalkulace

Tab. 3: Položkový rozpočet stavby

POLOŽKOVÝ ROZPOČET STAVBY					
Stabilizační opatření úseku dálnice D46 (9,100 - 9,275 km)					
P.Č.	K. P.	Zkrácený popis	MJ	Výměra	Cena jednotková Cena celkem
I. STAVEBNÍ ČÁST - Pozemky					
0		Pozemkové parcely, zábory (pozn. v majetku investora)	m2	0,00	0,00
CELKEM ZA I. ČÁST					0,00 Kč
II. STAVEBNÍ ČÁST - Stabilizační opatření úseku dálnice D46 (9,100 - 9,275 km)					
1. Zemní práce - úpravy terénu					
1		Skácení stromů a keřů do průměru kmene do 30 cm	m2	1 260,0	52,5
2		Sejmutí ornice vrstvy do 150 mm, včetně naložení a přepravy na mezideponii	m3	189,0	39,0
3		Vodorovné přemístění ornice do 10 m, (na mezideponii)	m3	189,0	96,0
4		Svislé přemístění ornice	m3	189,0	96,0
5		Odstranění stávajících žlabů, včetně odvezení a poplatku za skládku, do 10km	t	6,0	530,0
2. Monolitické konstrukce - zřízení pilotové stěny + převázka					
6		Zřízení pilot svislých zapažených D 600 mm s vytažením pažnice	m	2 920,0	276,0
7		Beton piloty C 20/25, včetně převázky	m3	881,7	2200,0
8		Výztuž pilot betonovaných do země z betonářské oceli 10 505, včetně převázky	t	19,5	24000,0
3. Odvodnění - zřízení odvodňovacích vrtů + povrchové odvodnění					
9		Zřízení odvodňovacích vrtů úklonných	m	3 285,0	180,0
10		Vystrojení odvodňovacího vrtu perforovaným potrubím	m	3 258,0	380,0
11		Zřízení šterkového lože pod odvodňovací žlab	m3	65,0	600,0
12		Zřízení betonových odvodňovacích žlabů (TBZ 50/65/16)	m	400,0	250,0
4. Úpravy terénu					
13		Rozprostření ornice	m2	189,0	96,0
14		Osivo travní	kg	47,5	110,0
15		Osetí a zalití plochy do 50 m2	m2	189,0	42,5
CELKEM ZA II. ČÁST					5 326 324,50 Kč
III. PROJEKČNÍ PRÁCE 1 %					53 263,24 Kč
IV. ZAŘÍZENÍ STAVENIŠTĚ 1,5 %					79 894,86 Kč
V. ROZPOČTOVÁ REZERVA 2,5%					133 158,10 Kč
REKAPITULACE ROZPOČTU					
I. STAVEBNÍ ČÁST - Pozemky					0,00 Kč
II. STAVEBNÍ ČÁST - Stabilizační opatření úseku dálnice D46					5 326 324,50 Kč
III. PROJEKČNÍ PRÁCE					53 263,24 Kč
IV. ZAŘÍZENÍ STAVENIŠTĚ					79 894,86 Kč
V. ROZPOČTOVÁ REZERVA					133 158,10 Kč
Celková cena díla bez DPH					5 592 640,70 Kč
DPH					21%
Celková cena díla s DPH					6 767 095,30 Kč

9 Závěr

Hlavním úkolem diplomové práce bylo celkové posouzení stability tělesa komunikace R46 a navržení vhodných sanačních opatření. Komunikace R46 se nachází mezi Vyškovem a Olomoucí, v lednu 2016 byla zařazena do dálniční sítě jako D46. Zájmové území se nachází na úseku 9,100 – 9,275 km v blízkosti obcí Drysice a Želeč. Těleso násypu vykazuje již delší dobu náznaky nestability v podobě trhlin ve vozovce a poklesu svodidel. Pravděpodobnou příčinou je působení extrémních srážek, kdy jsou vrstvy ukloněného horninového prostředí plně nasyceny vodou.

V praktické části práce bylo nejprve nutné získat potřebná data pro sestavení modelové analýzy. K posouzení horninového prostředí posloužila data z archivu Geofundu a především výsledky dvou geologických vrtů získaných od konzultanta DP. Pro vytvoření modelu byl geodeticky zaměřen příčný profil uprostřed posuzovaného úseku.

Pro analýzu stávajícího stavu byly vytvořeny dvě varianty modelů. Jeden bez přítomnosti podzemní vody a druhý s plně nasyceným horninovým prostředím vodou. Druhá zvolená varianta byla uvažována jako nejhorší možný stav pro dané prostředí, dle předpokladu vyšel svah jako nestabilní.

Jako sanační opatření byla navržena kombinace pilotové stěny spolu s odvodněním tělesa násypu. Pilotová stěna byla v modelu umístěna dle průběhu smykové plochy v analýze stávajícího stavu. Pouze samotná pilotová stěna stabilitu zvýšila, ale ne dostatečně. Proto bylo jako kombinace s pilotovou stěnou navrženo odvodnění celého tělesa násypu. Poté byl již svah stabilní. Dále byla provedena varianta, která by simulovala kolaps horninového prostředí směrem k blízké pískovně. Zde svah díky navržené pilotové stěně zůstal stabilní, ale hodnota stupně stability byla hraniční.

Srovnání stupňů stability jednotlivých variant je uvedeno v tabulce 4.

Pilotová stěna byla navržena ze 146 ks pilot o průměru 0,6 m a délce 20 m. Osová vzdálenost mezi pilotami byla zvolena 1,2 m. Piloty jsou spráhnuty ŽB převázkou umístěnou v hlavách pilot. Pro odvodnění bylo navrženo 73 ukloněných horizontálních odvodňovacích vrtů o délkách 45 m. Dále je nutné provést renovaci odvodňovacích žlabů po obou stranách komunikace. Pro tato navržená sanační opatření byla na závěr vypracována orientační cenová nabídka.

Je nutno podotknout, že tato navržená opatření jsou pouze předběžná, neslouží jako definitivní návrh pro realizaci. Postup provádění, volba materiálu a počet vrtů bude záviset na zkušenostech realizační firmy. Ještě před započítáním sanačních prací je doporučeno provést podrobný dlouhodobější monitoring podzemních vod, jelikož tato měření nebyla nikdy provedena. Je třeba se zaměřit na stav podzemní vody v období sucha a především po vydatných deštích.

Tab. 4: Vyhodnocení stupně stability

Varianta		Stupeň stability ΣM_{sf}
Stávající stav	bez vody	2,130
	s vodou	1,137
Stav po stabilizačních opatřeních	pilotová stěna	1,471
	pilotová stěna + odvodnění násypu	>2,349
	kolaps pískovny	1,523

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Stolárikovi, Ph.D. za odborné vedení, věcné rady a čas, který mi věnoval při zpracování této práce. Dále pak odbornému konzultantovi Ing. Jaroslavovi Ryšávkovi, Ph.D. za poskytnuté informace a podklady. V neposlední řadě samozřejmě své rodině a všem blízkým za veškerou jejich trpělivost a podporu při studiu.

Seznam zdrojů knižní literatury

- [1] ZÁRUBA, Q. a V. MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Praha: Academia, 1987.
- [2] KUMPERA, O., J. FOLDYNA a V. ZORKOVSKÝ. *Všeobecná geologie*. Praha: SNL/Alfa, 1988.
- [3] ONDRÁŠIK, R. a J. RYBÁŘ. *Dynamická inžinierská geológia*. Bratislava: SPN, 1991.
- [4] HULLA, Jozef. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga group, 1998. ISBN 80-889-0505-2.

Seznam internetových zdrojů

- [5] Sesuv půdy na D8. Hospodářské noviny [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://img.ihned.cz/attachment.php/270/55383270/wcKpmSAnyifJLCGgFjIl7t2zNa_d4xQM0/144-06-07-otvD8-1.jpg
- [6] Svahové deformace - výukové multimediální texty. [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svadef/default.htm>
- [7] Monitoring svahových deformací. Geotechnický monitoring [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/svadef/Text/6_monitoring.htm
- [8] Geotechnický monitoring. Podklady pro přednášky [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/predmety/geotechnicky-monitoring/studijni-materialy/podklady-pro-prednasky/>
- [9] Horninové kotvy. Zakládání staveb [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/horninove-kotvy>
- [10] SANACE NÁSYPŮ DOPRAVNÍCH STAVEB. Asb-portal: inženýrské stavby [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/doprava/sanace-nasypu-dopravnich-staveb>
- [11] Posuzovaná lokalita. Mapy.cz [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0952987&y=49.3283880&z=12>

- [12] Dálnice D46. Dálnice-silnice [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.dalnice-silnice.cz/D46.htm>
- [13] Letecká mapa. Mapy.cz [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=17.0721531&y=49.3495116&z=17>
- [14] Základní mapa. Analýza výškopisu [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/dmr/>
- [15] Členění soustav. Geomorfologické mapy [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/3_GEOMORFOLOGICK%C3%89_MAPY/3_GEOMORFOLOGICKE_MAPY.htm
- [16] Mapa vrtné prozkoumanosti. Geologicky dokumentované objekty [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/gdo/d.php?item=2&x=-563047&y=-1147496.1>
- [17] Svahové nestability. Česká geologická služba [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
- [18] Horizontální odvodňovací vrty. Horizontal drains [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://us20pme.org/wp-content/uploads/2016/09/horizontaldrains1.jpg>
- [19] Pilotové pažící stěny. ČVUT Katedra technologie staveb [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama332.html>
- [20] Embankment mudslide. Steamboat Today [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: http://www.steamboattoday.com/news/2009/apr/22/mudslide_narrows_traffic_lanes_river_road/

Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Úsek rozestavěné dálnice D8, částečný sesuv půdy v roce 2013 [5].....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 2: Hlavní části sesuvu: a) tahové trhliny nad odlučnou oblastí, b) odlučná stěna, c) příčné trhliny, d) radiální trhliny, e) boční valy. [1].....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 3: Druhy ploužení [3]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 4: Druhy sesouvání [3]</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 5: Druhy stékání [3].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 6: Druhy řízení [3].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 7: Typy sesuvů dle půdorysného tvaru [3]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 8: Některé faktory porušující stabilitu svahu v zeminách [4]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 9: Princip měření inklinometrickou sondou [7]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 10: Schéma monitoringu svahu.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 11: Osazování kotvy do vrtu [9].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 12: Sesuv svahu tělesa komunikace [20]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 13: Posuzovaná lokalita [11].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 14: Letecká mapa zájmového úseku [13].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 15: Základní mapa sklonitosti terénu [14]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 16: Geomorfologické členění soustav ČR [15].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 17: Mapa vrtné prozkoumanosti zájmového území [16].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 18: Mapa náchylnosti svahu k sesouvání [17].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 19: Vymletá koryta po dešťové vodě v blízké pískovně</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 20: Umístění průzkumných vrtů J-1 a J-2</i>	<i>30</i>

<i>Obr. 21: Geologický profil vrtu J-2 (materiál poskytnutý konzultantem DP)</i>	31
<i>Obr. 22: Fotografie stávajícího stavu</i>	32
<i>Obr. 23: Lokální porucha v km 9,193 - trhлина podélná rozvětvená (materiál poskytnutý konzultantem DP)</i>	33
<i>Obr. 24: Lokální porucha v km 9,275 – pokles svodidel (materiál poskytnutý konzultantem DP)</i>	33
<i>Obr. 25: Východní strana násypu</i>	34
<i>Obr. 26: Západní strana násypu</i>	35
<i>Obr. 27: Geodetické zaměření příčného profilu ze stanoviště 2</i>	35
<i>Obr. 28: Náhled modelu v softwaru Plaxis 2D</i>	38
<i>Obr. 29: Iniciační fáze</i>	39
<i>Obr. 30: Fáze přidání násypu a zatížení od dopravy</i>	39
<i>Obr. 31: Iniciační fáze</i>	40
<i>Obr. 32: Fáze přidání násypu a zatížení od dopravy</i>	40
<i>Obr. 33: Fáze zvýšení hladiny vody do násypu</i>	41
<i>Obr. 34: Smyková plocha</i>	42
<i>Obr. 35: Maximální posuny</i>	42
<i>Obr. 36: Smyková plocha</i>	43
<i>Obr. 37: Maximální posuny</i>	44
<i>Obr. 38: Horizontální posuny ve směru x</i>	44
<i>Obr. 39: Horizontální odvodňovací vrty [18]</i>	46
<i>Obr. 40: Pilotová pažící stěna s převázkou a kotvami (start. jáma pro TBM Ejpovice 2014)</i>	46

<i>Obr. 41: ŽB převázka v hlavě pilot [19]</i>	47
<i>Obr. 42: Zjedodušený 3D model navržených sanačních opatření</i>	48
<i>Obr. 43: Fáze instalace piloty</i>	50
<i>Obr. 44: Fáze odvodnění násypu</i>	50
<i>Obr. 45: Fáze simulace kolapsu pískovny</i>	51
<i>Obr. 46: Smyková plocha</i>	52
<i>Obr. 47: Maximální posuny</i>	52
<i>Obr. 48: Smyková plocha</i>	53
<i>Obr. 49: Maximální posuny</i>	54
<i>Obr. 50: Horizontální posuny ve směru x</i>	54
<i>Obr. 51: Smyková plocha</i>	55
<i>Obr. 52: Maximální posuny</i>	56

Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro zhotovení příčného profilu</i>	36
<i>Tab. 2: Mechanicko-fyzikální parametry zemin pro model [4]</i>	37
<i>Tab. 3: Položkový rozpočet stavby</i>	57
<i>Tab. 4: Vyhodnocení stupně stability</i>	Chyba! Záložka není definována.

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výpis geologické dokumentace (Česká geologická služba)

Příloha č. 2 – Geologický profil vrtu J – 1

Příloha č. 3 – Účelová mapa

Příloha č. 4 – Posuzovaný příčný profil

Příloha č. 1 – Výpis geologické dokumentace (Česká geologická služba)**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
J-12 [Drysice]**

Klíč báze GDO	:	456349	Číslo posudku	:	V078062	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147482.50	Y	:	563075.80	[zaměřeno]		
Nadmořská výška	:	309.40	[Balt po vyrovnání]			Rok ukončení	:	1978
Hloubka / délka	:	10.00	[vrt svislý]			Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	inženýrsko-geologický						
Realizace	:	Geotest n.p. Brno						
Komentář	:							

hloubkový interval [m]	stratigrafie
	základní popis polohy
	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.30	: hlína hnědá
0.30 - 4.90	: hlína sprašová, pevná, vápnitá, rezavohnědá
4.90 - 6.00	: písek hlinitý, střednozrný, vápnitý, hnědý
	Neogén - bádén
6.00 - 10.00	: písek hlinitý, vápnitý, hnědý

Suchý objekt**Provedené zkoušky**

technologické rozbory, geotechnické rozbory

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
J-13 [Drysice]**

Klíč báze GDO	:	456350	Číslo posudku	:	V078062	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147496.10	Y	:	563047.00	[zaměřeno]		
Nadmořská výška	:	308.20	[Balt po vyrovnání]			Rok ukončení	:	1978
Hloubka / délka	:	10.00	[vrt svislý]			Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	inženýrsko-geologický						
Realizace	:	Geotest n.p. Brno						
Komentář	:							

hloubkový interval [m]	stratigrafie
	základní popis polohy
	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.30	: hlína hnědá
0.30 - 0.80	: hlína pevná, hnědá
0.80 - 2.20	: hlína sprašová, vápnitá, pevná, šedožlutá
2.20 - 3.10	: hlína sprašová, rezavohnědá
3.10 - 6.00	: hlína písčitá, hrubozrná, světle šedohnědá
	Neogén - bádén
6.00 - 10.00	: štěrk hnědý

Suchý objekt**Provedené zkoušky**

technologické rozbory, geotechnické rozbory

STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
J-14 [Želeč, okres Prostějov]

Klíč báze GDO	:	456351	Číslo posudku	:	V078062	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147004.50	Y	:	562767.10	[zaměřeno]		
Nadmořská výška	:	313.50	[Balt po vyrovnání]			Rok ukončení	:	1978
Hloubka / délka	:	10.00	[vrt svislý]			Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	inženýrsko-geologický						
Realizace	:	Geotest n.p. Brno						
Komentář	:							

	stratigrafie
hloubkový interval	základní popis polohy
[m]	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.80	: hlína písčitá, pevná, hnědá
	Neogén - bádén
0.80 - 10.00	: písek hrubozrný, vápnitý, žlutozelený

Suchý objekt

Provedené zkoušky

technologické rozbor, geotechnické rozbor

STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
J-15 [Želeč, okres Prostějov]

Klíč báze GDO	:	456352	Číslo posudku	:	V078062	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147033.60	Y	:	562746.80	[zaměřeno]		
Nadmořská výška	:	311.70	[Balt po vyrovnání]			Rok ukončení	:	1978
Hloubka / délka	:	10.00	[vrt svislý]			Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	inženýrsko-geologický						
Realizace	:	Geotest n.p. Brno						
Komentář	:							

	stratigrafie
hloubkový interval	základní popis polohy
[m]	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.60	: navážka
	Neogén - bádén
0.60 - 10.00	: písek hrubozrný, šedožlutý

Suchý objekt

Provedené zkoušky

technologické rozbor, geotechnické rozbor

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
HIV-1101 [Želeč, okres Prostějov]**

Klíč báze GDO	:	557344	Číslo posudku : P084841	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147171.41	Y : 562751.40 [zaměřeno]			
Nadmořská výška	:	307.70	[Balt po vyrovnání]	Rok ukončení	:	1995
Hloubka / délka	:	48.30	[vrt svislý]	Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	hydrogeologický bez provedených zkoušek				
Realizace	:	TOPGEO, s.r.o., Brno				
Komentář	:					

hloubkový interval [m]	stratigrafie
	základní popis polohy
	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

0.00 - 3.00	:	Kvartér navážka Neogén
3.00 - 18.00	:	písek střednozrný až hrubozrný, ojediněle jílovitý, žlutý
18.00 - 18.10	:	konglomerát silně stmelený, šedohnědý
18.10 - 27.00	:	písek jemnozrný, prachovitý, jílovitý, žlutohnědý
27.00 - 31.00	:	písek slabě stmelený, vápnitý, žlutošedý; příměs: jílovec přítomnost : pískovec
31.00 - 31.20	:	pískovec vápnitý, silně stmelený, šedý
31.20 - 36.00	:	písek silně stmelený střídání : pískovec
36.00 - 48.30	:	pískovec silně stmelený, vápnitý, šedý přítomnost : vápenec písčitý

Suchý objekt

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
V-1 [Želeč, okres Prostějov]**

Klíč báze GDO	:	557345	Číslo posudku : P084841	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147149.08	Y : 562789.70 [zaměřeno]			
Nadmořská výška	:	309.90	[Balt po vyrovnání]	Rok ukončení	:	1995
Hloubka / délka	:	4.00	[vrt svislý]	Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	hydrogeologický bez provedených zkoušek				
Realizace	:	TOPGEO, s.r.o., Brno				
Komentář	:					

hloubkový interval [m]	stratigrafie
	základní popis polohy
	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

0.00 - 4.00	:	Neogén písek hrubozrný, žlutohnědý přítomnost : štěrk písčitý
-------------	---	---

Suchý objekt

Provedené zkoušky
zkoušky zeminy na kontaminaci

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
V-2 [Želeč, okres Prostějov]**

Klíč báze GDO	:	557346	Číslo posudku : P084841	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147116.58	Y : 562754.52 [zaměřeno]			
Nadmořská výška	:	309.10	[Balt po vyrovnání]	Rok ukončení	:	1995
Hloubka / délka	:	6.00	[vrt svislý]	Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	hydrogeologický bez provedených zkoušek				
Realizace	:	TOPGEO, s.r.o., Brno				
Komentář	:					

hloubkový interval [m]	:	stratigrafie základní popis polohy rozšíření popisu polohy komentář k poloze
-----------------------------	---	--

0.00 - 4.50	:	Kvartér navážka
4.50 - 6.00	:	Neogén písek hrubozrnný, žlutý přítomnost : štěrk ojediněle ve valounech

Suchý objekt

Provedené zkoušky

zkoušky zeminy na kontaminaci

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
V-3 [Želeč, okres Prostějov]**

Klíč báze GDO	:	557347	Číslo posudku : P084841	Mapy 1:25.000	24-421	M-33-95-C-c
Souřadnice - X	:	1147073.73	Y : 562723.87 [zaměřeno]			
Nadmořská výška	:	309.90	[Balt po vyrovnání]	Rok ukončení	:	1995
Hloubka / délka	:	4.00	[vrt svislý]	Datum výpisu	:	25.3.2016
Účel objektu	:	hydrogeologický bez provedených zkoušek				
Realizace	:	TOPGEO, s.r.o., Brno				
Komentář	:					

hloubkový interval [m]	:	stratigrafie základní popis polohy rozšíření popisu polohy komentář k poloze
-----------------------------	---	--

0.00 - 0.30	:	Kvartér hlína silně písčitá
0.30 - 4.00	:	Neogén písek hrubozrnný, žlutý přítomnost : štěrk ojediněle ve valounech

Suchý objekt

Provedené zkoušky

zkoušky zeminy na kontaminaci

Příloha č. 2 – Geologický profil vrtu J - 1**GEOLOGICKÝ PROFIL**vrt : **J-1**

název akce : IG průzkum svislé deformace na R46

v km 9,275, směr Olomouc

číslo akce : 25/2015

vrtné práce : VBV GEO s.r.o., Havířov

datum vrtání : 9.11.2015

hloubka (m) 1 : 50	zeminy a horniny graficky	odběr vzorků hladina vody	třída symbol ČSN 72 1002 ČSN 75 2410	třída symbol EN ISO 14688-2	geneze	pojmenování a popis zemín a hornin dle makropopisu
1			O - CS	sacSi	humózní	0.0-0.2 m : jíl písčitý, tmavě hnědý, s organickou příměsí, tuhý
2		I PLP	F6 CI	siCI	eolická	0.2-3.0 m : jíl středněplastický, světlehnědý, rezavě smouhovaný, tuhý až pevný
3		I PLP				
4		I N				
5						
6			S3 S-F	saGr	eluvialní	3.0-10.0 m : písek s příměsí jemnozrnné zeminy, šedohnědý, středně ulehlý, zavlhlý, od 4.0 m s valouny do 3 cm, místy až jíl písčitý, tuhý až pevný
7						
8						
9						
10		I P				

N - neporušený vzorek

PLP - poloporušený vzorek

P - porušený vzorek

hladina podzemní vody ustálená -
naražená -